



TESIS - MO 142528

Studi Karakteristik *Vortex shedding* dari Interaksi Hidrodinamika dengan Pemasangan *Multiple helical rods* ber-gap pada Sebuah Silinder Kaku

FARDIANSYAH CAHYA PRATAMA PUTRA

NRP. 4113 201 003

Dosen Pembimbing :

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, ST., MT

Ir. Wisnu Wardhana, SE., M.Sc, Ph.D

PROGRAM MAGISTER

JURUSAN TEKNIK PERANCANGAN BANGUNAN LAUT

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2015



THESIS - MO 142528

Study of Vortex Shedding Characteristic from Hydrodynamic Interaction Due to Installation of Gapped Multiple Helical Rods on a Rigid Cylinder

FARDIANSYAH CAHYA PRATAMA PUTRA

NRP. 4113 201 003

Supervisor :

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, ST., MT

Ir. Wisnu Wardhana, SE., M.Sc, Ph.D

MASTER PROGRAM

GRADUATE PROGRAM IN MARINE ENGINEERING

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SURABAYA

2015

Telah disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)

di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
oleh:

Fardiansyah Cahya Pratama Putra
NRP. 4113. 201. 003

Tanggal Ujian : 26 Januari 2015
Periode Wisuda : Maret 2015

Disetujui oleh:

1 Dr.Eng./Rudi W. Prastianto, ST., MT.
NIP. 197105081997031001

(Pembimbing I)

2 Ir. Wisnu Wardhana, SE., M.Sc, Ph.D
NIP. 195812041987021001

(Pembimbing II)

3 Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D.
NIP. 196107021988031003

(Penguji)

4 Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST., MT., Ph.D.
NIP. 197111051995121001

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

NIP. 196404051990021001

Studi Karakteristik *Vortex shedding* dari Interaksi Hidrodinamika dengan Pemasangan *Multiple helical rods* ber-gap pada Sebuah Silinder Kaku

Nama Mahasiswa : Fardiansyah Cahya Pratama Putra
NRP : 4113. 201. 003
Pembimbing : Dr. Eng. Rudi W. Prastianto, ST., MT
Co-Pembimbing : Ir. Wisnu Wardhana, SE., M.Sc, Ph.D

ABSTRAK

Vortex shedding merupakan sebuah fenomena yang sering terjadi pada bagian struktur bangunan lepas pantai yang berada didalam air. Beberapa contoh bagian tersebut adalah *jacket leg*, *riser*, *pipeline*, *conductor*, dll. Pengaruh *suppression device* sangat besar dalam menanggulangi besarnya gaya hidrodinamis yang terjadi pada objek silinder yang terkena aliran fluida. Penelitian ini menggunakan permodelan numeris melalui CFD (*Computational Fluid Dynamic*). Penambahan *helical rods* ber-gap sebagai *suppression device* berpengaruh terhadap penurunan C_D (*drag coefficient*) dan C_L (*lift coefficient*). Penurunan secara signifikan terjadi pada konfigurasi pemasangan *helical rods* ber-gap pada arah datang aliran 0° , pengurangan terjadi pada C_D sebesar $\pm 3.5\%$ ($Re = 10^4$) dan $\pm 12\%$ ($Re = 10^5$) sedangkan pada C_L terjadi pengurangan sebesar $\pm 777\%$ ($Re = 10^3$), $\pm 142\%$ ($Re = 10^4$) dan $\pm 645\%$ ($Re = 10^5$). Penambahan *multiple helical rods* ber-gap yang berpengaruh terhadap penurunan C_D dan C_L adalah konfigurasi pemasangan *multiple helical rods* dengan arah datang 0° , pengurangan terjadi pada C_D sebesar $\pm 4.5\%$ ($Re = 10^4$) dan $\pm 6\%$ ($Re = 10^5$) sedangkan penurunan untuk nilai C_L sebesar $\pm 218\%$ ($Re = 10^5$). Pola aliran yang melewati silinder setelah ditambahkan *helical rods* ber-gap dapat merusak *vortex shedding* yang terbentuk. Didapatkan hasil bahwa frekuensi *vortex shedding* terjadi pada *bare cylinder* dan silinder yang ditambahkan *helical rods* memiliki nilai yang sama, yakni 1Hz, hal ini karena keterbatasan data sehingga tidak mendapatkan hasil yang detail

Kata Kunci: *Vortex shedding* , *suppression devices*, *helical rods* ber-gap, *multiple helical rods* ber-gap, variasi gap

Study of Vortex Shedding Characteristic from Hydrodynamic Interaction Due to Installation of Gapped Multiple Helical Rods on a Rigid Cylinder

Student name : Fardiansyah Cahya Pratama Putra
Reg : 4113. 201. 003
Supervisor : Dr. Eng. Rudi W. Prastianto, ST., MT
Co-Supervisor : Ir. Wisnu Wardhana, SE., M.Sc, Ph.D

ABSTRACT

Vortex shedding is a common phenomenon in the offshore part of the building structure which has a cylindrical geometry, some examples of these parts is the jacket leg, risers, pipelines, conductor, etc. Effect of suppression devices are very large in magnitude overcome hydrodynamic force that occurs in the affected cylinder object fluid flow. In this thesis research will be carried out by numerical modeling by CFD (Computational Fluid Dynamics). The use of multiple helical rods with gap with the direction variations can reduce C_D (drag coefficient) and C_L (lift coefficient) but the decline is not too significant, even in some of the Reynolds number increases, the incoming flow directions 0° , with a reduction of $\pm 4.5\%$ at $Re = 10^4$ and $\pm 6\%$ at $Re = 10^5$ for C_D value and $\pm 218\%$ at $Re = 10^5$ for C_L . This result is much more inefficient when compared to the triple helical rods, which incoming flow direction 0° , with a reduction of $\pm 3.5\%$ at $Re = 10^4$ and $\pm 12\%$ at $Re = 10^5$ for C_D and $\pm 777\%$ at $Re = 10^3$, $\pm 142\%$ at $Re = 10^4$ and $\pm 645\%$ at $Re = 10^5$ for C_L . Flow pattern that occurs after passing through the cylinder, gapped helical rods may damage the vortex shedding formed. Showed that the frequency of vortex shedding occurs in bare cylinder and addition of helical rods have the same value, 1Hz, this can be due to limitations of the data so it does not get the results that detail

Key words: *Vortex shedding, suppression devices, gapped triple helical rods, multiple helical rods with gap*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik. Tesis ini berjudul “Studi Karakteristik *Vortex shedding* dari Interaksi Hidrodinamika dengan Pemasangan *Multiple helical rods* ber-gap pada Sebuah Silinder Kaku”. Tesis ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Magister (S-2) di Program Studi Teknik Perancangan Bangunan Laut, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tesis ini membahas pengaruh penambahan *multiple helical rods* ber-gap terhadap gaya hidrodinamis dan karakteristik *Vortex shedding*. Kami menyadari dalam penulisan laporan ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik sangat penulis harapkan sebagai bahan penyempurnaan laporan selanjutnya. Penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi perkembangan teknologi di Bidang Hidrodinamika Struktur, bagi pembaca umumnya dan penulis pada khususnya.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya , Januari 2015

Fardiansyah Cahya Pratama Putra

DAFTAR ISI

Judul Tesis.....	i
Lembar Pengesahan Tesis.....	iii
Abstrak.....	v
Abstract.....	vii
Kata Pengantar.....	ix
Ucapan Terima Kasih.....	xi
Daftar Isi.....	xiii
Daftar Gambar.....	xv
Daftar Tabel.....	xix
Daftar Tabel.....	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	2
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	3
2.1 Kajian Pustaka.....	3
2.2 Dasar Teori.....	4
2.2.1 <i>Vortex shedding</i>	4
2.2.2 Model Turbulensi.....	9
2.2.2.1 K-epsilon ($k-\epsilon$).....	9
2.2.2.2 K-omega ($k-\omega$).....	9
2.2.2.3 SST K-omega ($k-\omega$).....	10
2.2.3 Drag force dan Lift force.....	10
2.2.4 Teori sinyal gelombang acak.....	11
2.2.5 Analisis Fast Fourier Transform (FFT).....	13
2.2.6 Computational Fluid Dynamics.....	14
BAB 3 METODA PENELITIAN.....	17

3.1 Diagram Alir.....	17
3.2 Metodologi Penelitian.....	18
BAB 4 ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN.....	23
4.1 Studi independensi jaringan (grid independency).....	23
4.2 Validasi hasil.....	35
4.3 Efek penambahan <i>rods</i> terhadap gaya fluida.....	43
4.3.1 Pengaruh <i>helical rods</i> terhadap gaya fluida.....	43
4.3.2 Pengaruh <i>gap helical rods</i> terhadap gaya fluida.....	48
4.3.3 Pengaruh <i>multiple helical rods</i> terhadap gaya fluida.....	49
4.3.4 Pengaruh <i>gap multiple helical rods</i> terhadap gaya fluida.....	55
4.4 Efek penambahan <i>rods</i> terhadap pola aliran.....	55
4.4.1 Pola aliran disekitar <i>bare cylinder</i>	55
4.4.2 Pola aliran disekitar <i>helical rods</i>	60
4.4.2.1 Pola aliran disekitar <i>triple helical rods</i>	60
4.4.2.2 Pola aliran disekitar <i>multiple helical rods</i>	63
4.5 Efek penambahan <i>rods</i> terhadap frekuensi <i>vortex shedding</i> ...	66
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	67
5.1. Kesimpulan.....	85
5.2. Saran.....	86
DAFTAR PUSTAKA.....	87
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Analisa Sensivitas Meshing Dengan Nilai $Re = 10^3$	
kode simulasi 1.....	24
Tabel 4.2 Hasil Analisa Sensivitas Meshing Dengan Nilai $Re = 10^3$	
kode simulasi 2.....	25
Tabel 4.3 Hasil Analisa Sensivitas Meshing Dengan Nilai $Re = 10^3$	
kode simulasi 3.....	26
Tabel 4.4 Hasil Analisa Sensivitas Meshing Dengan Nilai $Re = 10^3$	
kode simulasi 4.....	28
Tabel 4.5 Hasil analisa konfigurasi meshing menggunakan variabel	
curvature normal angle.....	37
Tabel 4.6 Hasil analisa grid indepenence menggunakan variabel max face size...	38
Tabel 4.7 Hasil analisa komparasi nilai Cd simulasi CFD dengan Eksperimen	39
Tabel 4.8 Hasil analisa komparasi nilai Cd Professor Heiki Haario dan Tesis	41
Tabel 4.9 Fungsi skala nilai Cd simulasi dengan eksperimen.....	41
Tabel 4.10 Hasil perhitungan fungsi skala nilai Cd.....	42
Tabel 4.11 Hasil perhitungan fungsi skala nilai Cl.....	43
Tabel 4.12 Hasil penambahan <i>helical rods</i> arah 0°	44
Tabel 4.13 Hasil penambahan <i>helical rods</i> arah 15°	44
Tabel 4.14 Hasil penambahan <i>helical rods</i> arah 30°	44
Tabel 4.15 Hasil penambahan <i>helical rods</i> arah 45°	45
Tabel 4.16 Hasil penambahan <i>helical rods</i> arah 60°	45
Tabel 4.17 Hasil penambahan <i>helical rods</i> arah 0°	46
Tabel 4.18 Hasil penambahan <i>helical rods</i> arah 15°	46
Tabel 4.19 Hasil penambahan <i>helical rods</i> arah 30°	47
Tabel 4.20 Hasil penambahan <i>helical rods</i> arah 45°	47
Tabel 4.21 Hasil penambahan <i>helical rods</i> arah 60°	47

Tabel 4.22 Variasi <i>gap</i> pemasangan <i>helical rods</i> arah 0° terhadap nilai Cd.....	49
Tabel 4.23 Variasi <i>gap</i> pemasangan <i>helical rods</i> arah 0° terhadap nilai Cl.....	49
Tabel 4.24 Hasil penambahan <i>multiple helical rods</i> arah 0°	50
Tabel 4.25 Hasil penambahan <i>multiple helical rods</i> arah 15°	50
Tabel 4.26 Hasil penambahan <i>multiple helical rods</i> arah 30°	50
Tabel 4.27 Hasil penambahan <i>multiple helical rods</i> arah 45°	51
Tabel 4.28 Hasil penambahan <i>multiple helical rods</i> arah 60°	51
Tabel 4.29 Hasil penambahan <i>multiple helical rods</i> arah 0°	52
Tabel 4.30 Hasil penambahan <i>multiple helical rods</i> arah 15°	53
Tabel 4.31 Hasil penambahan <i>multiple helical rods</i> arah 30°	53
Tabel 4.32 Hasil penambahan <i>multiple helical rods</i> arah 45°	53
Tabel 4.33 Hasil penambahan <i>multiple helical rods</i> arah 60°	54
Tabel 4.34 Variasi <i>gap</i> pemasangan <i>multiple helical rods</i> arah 0° terhadap nilai Cd.....	55
Tabel 4.35 Variasi <i>gap</i> pemasangan <i>multiple helical rods</i> arah 0° terhadap nilai Cl.....	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Simulasi <i>vortex shedding</i>	4
Gambar 2.2 Daerah aliran (Lienhard, 1966 dalam Techet, 2005).....	5
Gambar 2.3 Hubungan Reynold Number dan Strouhal Number (Chakrabarti 2005).....	8
Gambar 2.4 Gaya lift dan drag pada silinder (Drescher, 1956).....	10
Gambar 2.5 Contoh <i>time history</i> rekaman gelombang acak (Djatkiko, 2009)	11
Gambar 2.6 Definisi pengukuran gelombang acak (Djatkiko, 2009).....	12
Gambar 2.7 Gelombang acak merupakan superposisi gelombang reguler dalam jumlah ∞ (Djatkiko,2009).....	14
Gambar 3.1 Diagram alir metoda penelitian.....	17
Gambar 3.2 Konfigurasi multiple silinder 2D.....	19
Gambar 3.3 (a) silinder dengan <i>helical rods</i> ber-gap.....	19
Gambar 3.3 (b) silinder dengan <i>multiple helical rods</i> ber-gap.....	19
Gambar 3.4 Grafik nilai Cd hasil eksperimen.....	20
Gambar 3.5. Grafik nilai Cl hasil eksperimen (Chakrabakti,2005).....	20
Gambar 4.1 Visualisasi meshing kode simulasi 1 nomor simulasi S11 <i>bare cylinder</i> dan domainnya.....	24
Gambar 4.2 Visualisasi meshing kode simulasi 1 nomor simulasi S13 <i>bare cylinder</i> dan domainnya.....	25
Gambar 4.3 Visualisasi meshing kode simulasi 1 disekitar silinder.....	25
Gambar 4.4 Sensitivitas meshing pada <i>bare cylinder</i>	27
Gambar 4.5 Visualisasi meshing kode simulasi 3 <i>bare cylinder</i> dan domainnya	27
Gambar 4.6 Visualisasi meshing kode simulasi 3 disekitar silinder.....	27
Gambar 4.7 Visualisasi meshing kode simulasi 4 <i>bare cylinder</i> dan domainnya	28
Gambar 4.8 Variabel-variabel konfigurasi meshing K1.....	29
Gambar 4.9 visualisasi konfigurasi meshing K1.....	30
Gambar 4.10 Variabel-variabel konfigurasi meshing K2.....	30
Gambar 4.11 visualisasi konfigurasi meshing K2.....	31
Gambar 4.11 Variabel-variabel konfigurasi meshing K3.....	31
Gambar 4.12 visualisasi konfigurasi meshing K3.....	32
Gambar 4.13 Variabel-variabel konfigurasi meshing K4.....	32

Gambar 4.14 visualisasi konfigurasi meshing K4.....	33
Gambar 4.15 Variabel-variabel konfigurasi meshing K5.....	33
Gambar 4.16 visualisasi konfigurasi meshing K5.....	34
Gambar 4.17 Variabel-variabel konfigurasi meshing K6.....	34
Gambar 4.18 visualisasi konfigurasi meshing K6.....	35
Gambar 4.19 Prediksi nilai Cd pada silinder kaku pada CFD dan perbandingan dengan eksperimen.....	36
Gambar 4.20 Grafik penurunan nilai Cd dengan menggunakan variabel curvature normal angle.....	37
Gambar 4.21 Grafik grid indepace menggunakan variabel max face size.....	38
Gambar 4.22 visualisasi konfigurasi meshing grid indepace.....	38
Gambar 4.23 Prediksi nilai Cd pada CFD dan perbandingan dengan eksperimen	39
Gambar 4.24 Linearisasi fungsi Re terhadap nilai Cd.....	40
Gambar 4.25 Linearisasi fungsi Re terhadap skala.....	41
Gambar 4.26 Prediksi nilai Cl pada silinder kaku dengan eksperimen (Chakrabakti, 2005).....	42
Gambar 4.27 Visualisasi meshing penambahan <i>helical rods</i> dan domainnya.....	43
Gambar 4.28 Komparasi nilai Cd variasi arah datang.....	46
Gambar 4.29 Komparasi nilai Cl variasi arah datang.....	48
Gambar 4.30 Visualisasi meshing penambahan <i>multiple helical rods</i> dan domainnya.....	49
Gambar 4.31 Komparasi nilai Cd variasi arah datang pada <i>multiple helical</i> <i>rods</i>	52
Gambar 4.32 Komparasi nilai Cl variasi arah datang pada <i>multiple helical</i> <i>rods</i>	55
Gambar 4.33 Pola aliran pada long vertical riser.....	57
Gambar 4.34 pola aliran pada <i>bare cylinder</i>	57
Gambar 4.35 pola aliran pada <i>bare cylinder</i> Re 10^3	58
Gambar 4.36 pola aliran pada <i>bare cylinder</i> Re 10^4	58
Gambar 4.37 pola aliran pada <i>bare cylinder</i> Re 10^5	58
Gambar 4.38 Pola aliran disekitar silinder (a) Re 10^3 (b) Re 10^4 (c) Re 10^5	59
Gambar 4.39 Pola aliran pengaruh triple <i>helical rods</i> Re 10^3	60
Gambar 4.40 Pola aliran pengaruh triple <i>helical rods</i> Re 10^4	61
Gambar 4.41 Pola aliran pengaruh triple <i>helical rods</i> Re 10^5	62

Gambar 4.42 Pola aliran pengaruh triple <i>helical rods</i> Re 10^3 gap 0.06m.....	63
Gambar 4.43 Pola aliran pengaruh <i>multiple helical rods</i> Re 10^3	64
Gambar 4.44 Pola aliran pengaruh <i>multiple helical rods</i> Re 10^4	64
Gambar 4.45 Pola aliran pengaruh <i>multiple helical rods</i> Re 10^5	65
Gambar 4.46 Skema terbentuknya lapisan geser yang menyebabkan terbentuknya <i>vortex shedding</i> (Sumer, 1999).....	66
Gambar 4.47 Nilai Cd berdasarkan fungsi waktu pada bare silinder pada Re 10^3	66
Gambar 4.48 Frekuensi Cd pada bare silinder pada Re 10^3	67
Gambar 4.49 Nilai Cd berdasarkan fungsi waktu pada bare silinder pada Re 10^4	67
Gambar 4.50 Frekuensi Cd pada bare silinder pada Re 10^4	68
Gambar 4.51 Nilai Cd berdasarkan fungsi waktu pada bare silinder pada Re 10^5	68
Gambar 4.52 Frekuensi Cd pada bare silinder pada Re 10^5	69
Gambar 4.53 Nilai Cd berdasarkan fungsi waktu pada <i>helical rods</i> pada Re 10^3	69
Gambar 4.54 Frekuensi Cd pada pemasangan <i>helical rods</i> pada Re 10^3	70
Gambar 4.55 Nilai Cd berdasarkan fungsi waktu pada <i>helical rods</i> pada Re 10^4	70
Gambar 4.56 Frekuensi Cd pada pemasangan <i>helical rods</i> pada Re 10^4	71
Gambar 4.57 Nilai Cd berdasarkan fungsi waktu pada <i>helical rods</i> pada Re 10^5	71
Gambar 4.58 Frekuensi Cd pada pemasangan <i>helical rods</i> pada Re 10^5	72
Gambar 4.59 Nilai Cd berdasarkan fungsi waktu pada <i>multiple helical rods</i> pada Re 10^3	72
Gambar 4.60 Frekuensi Cd pada pemasangan <i>multiple helical rods</i> pada Re 10^3	73
Gambar 4.61 Nilai Cd berdasarkan fungsi waktu pada <i>multiple helical rods</i> pada Re 10^4	73
Gambar 4.62 Frekuensi Cd pada pemasangan <i>multiple helical rods</i> pada Re 10^4	74
Gambar 4.63 Nilai Cd berdasarkan fungsi waktu pada <i>multiple helical rods</i> pada Re 10^5	74
Gambar 4.64 Frekuensi Cd pada pemasangan <i>multiple helical rods</i> pada Re 10^5	75

Gambar 4.65 Nilai CI berdasarkan fungsi waktu pada bare silinder pada $Re\ 10^3$	75
Gambar 4.66 Frekuensi CI pada bare silinder pada $Re\ 10^3$	76
Gambar 4.67 Nilai CI berdasarkan fungsi waktu pada bare silinder pada $Re\ 10^4$	76
Gambar 4.68 Frekuensi CI pada bare silinder pada $Re\ 10^4$	77
Gambar 4.69 Nilai CI berdasarkan fungsi waktu pada bare silinder pada $Re\ 10^5$	77
Gambar 4.70 Frekuensi CI pada bare silinder pada $Re\ 10^5$	78
Gambar 4.71 Nilai CI berdasarkan fungsi waktu pada <i>helical rods</i> pada $Re\ 10^3$	78
Gambar 4.72 Frekuensi CI pada pemasangan <i>helical rods</i> pada $Re\ 10^3$	79
Gambar 4.73 Nilai CI berdasarkan fungsi waktu pada <i>helical rods</i> pada $Re\ 10^4$	79
Gambar 4.74 Frekuensi CI pada pemasangan <i>helical rods</i> pada $Re\ 10^4$	80
Gambar 4.75 Nilai CI berdasarkan fungsi waktu pada <i>helical rods</i> pada $Re\ 10^5$	80
Gambar 4.76 Frekuensi CI pada pemasangan <i>helical rods</i> pada $Re\ 10^5$	81
Gambar 4.77 Nilai CI berdasarkan fungsi waktu pada <i>multiple helical rods</i> pada $Re\ 10^3$	81
Gambar 4.78 Frekuensi CI pada pemasangan <i>multiple helical rods</i> pada $Re\ 10^3$	82
Gambar 4.79 Nilai CI berdasarkan fungsi waktu pada <i>multiple helical rods</i> pada $Re\ 10^4$	82
Gambar 4.80 Frekuensi CI pada pemasangan <i>multiple helical rods</i> pada $Re\ 10^4$	83
Gambar 4.81 Nilai CI berdasarkan fungsi waktu pada <i>multiple helical rods</i> pada $Re\ 10^5$	83
Gambar 4.82 Frekuensi CI pada pemasangan <i>multiple helical rods</i> pada $Re\ 10^5$	84

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Vortex shedding merupakan sebuah fenomena yang sering terjadi pada bagian struktur bangunan lepas pantai yang berada didalam air dengan geometri berupa silinder, beberapa contoh bagian tersebut adalah *jacket leg*, *riser*, *pipeline*, *conductor*, dll. Secara alamiah sejumlah besar aplikasi bangunan laut melibatkan interaksi antara fluida dan struktur berupa silinder, maka fenomena aliran di sekitar bagian silinder sangat penting untuk diteliti (Hu, et al. 2006).

Dalam banyak kasus, *vortex shedding* dapat berpengaruh fatal bagi keberlangsungan umur sebuah struktur yang memiliki geometri silinder pada khususnya. Adanya *vortex shedding* dapat memicu terjadinya *vortex induced vibration*. *Vortex shedding* memiliki berbagai bentuk pola. Telah banyak penelitian yang juga menganalisa pola *vortex* yang terjadi dibelakang silinder dengan bertambahnya nilai *Re* maupun dengan konfigurasi objek yang sedemikian rupa.

Alam, et al. (2003) melakukan penelitian secara eksperimental fisik di *wind tunnel* pada silinder ($Re = 5,5 \times 10^4$) dengan menambahkan 2 buah tripping *rods* di depan silinder dengan variasi *gap*, diameter *rods* dan sudutnya. Hasilnya menunjukkan bahwa terdapat penurunan gaya hidrodinamis yang sangat besar sekitar 60% - 80% pada rentang rasio yang diujikan.

Sugiwanto (2007) melakukan studi numerik pada silinder yang dipasang *helical strakes* ber-*gap*, pada penelitian tersebut, sugiwanto melakukan variasi diameter strakes dan ukuran pitchnya. Berdasar dari beberapa kasus tersebut, penelitian kali ini akan menggunakan variasi *gap* serta penambahan jumlah *rods* di masing-masing bagian *rods* dari model optimum yang telah diteliti oleh sugiwanto untuk mendapatkan hasil yang lebih optimum dalam mereduksi *drag force* pada silinder.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan dari tugas akhir ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh pemasangan *multiple helical rods* ber-gap terhadap besarnya gaya hidrodinamis pada silinder?
2. Bagaimana karakteristik pola aliran fluida yang terbentuk setelah pemasangan *multiple helical rods* ber-gap pada silinder?
3. Bagaimana pengaruh pemasangan *multiple helical rods* ber-gap terhadap besarnya frekuensi *vortex shedding* pada silinder?

1.3. Tujuan

Dari perumusan masalah di atas, maka tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh pemasangan *multiple helical rods* ber-gap terhadap besarnya gaya hidrodinamis pada silinder.
2. Mengetahui karakteristik pola aliran fluida yang terbentuk setelah pemasangan *multiple helical rods* ber-gap pada silinder;
3. Mengetahui pengaruh pemasangan *multiple helical rods* ber-gap terhadap besarnya frekuensi *vortex shedding* pada silinder;

1.4. Manfaat

Dari hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan penjelasan tentang pengaruh pemasangan *multiple helical rods* ber-gap pada silinder dan dapat memberikan sebuah pengetahuan baru terkait hal-hal yang akan menjadi fokus penelitian ini.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Silinder diasumsikan *rigid*, lurus dan mulus
2. Beban arus diasumsikan seragam (uniform) dan steady.
3. *Helical rods* ber-gap dianggap tidak mempunyai kekakuan dan massa sehingga diasumsikan tidak mempengaruhi frekuensi natural silinder.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Vortex shedding dengan gaya hidrodinamis (*drag force* dan *lift force*) adalah dua hal yang saling berhubungan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Drescher di tahun 1956 membuktikan bahwa *drag force* serta *lift force* berosilasi dengan frekuensi *vortex shedding*. Selain erat hubungan antara kedua subjek tersebut. Pola *vortex* yang terjadi juga mendapat perhatian khusus. Pola yang terbentuk dibelakang silinder mempengaruhi frekuensi *vortex shedding* yang juga secara tidak langsung berpengaruh pada gaya hidrodinamis yang terjadi pada silinder.

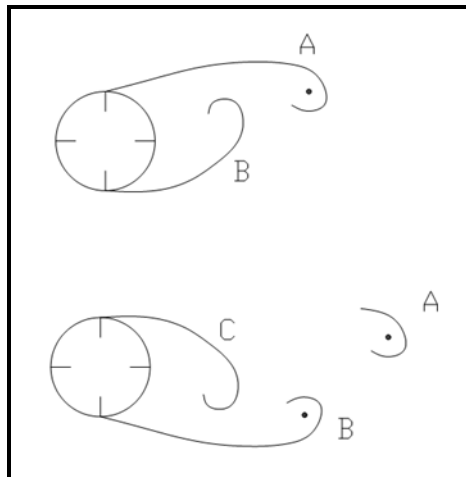
Alam et al. (2003) dalam penelitiannya menggunakan sebuah silinder untuk mengetahui efektifitas dari penambahan dua buah rod dalam mereduksi *drag force* dan *lift force* yang terjadi. Penelitian tersebut menghasilkan kesimpulan dengan menempatkan rod yang simetris dengan angular rod 30° dari aliran yang datang dapat mereduksi C_D (koefisien drag), C_{Df} (koefisien drag fluktuatif) dan C_{Lf} (koefisien lift fluktuatif) sebesar 67%, 61% dan 87% hal ini memberi gambaran tentang efektifitas dari konfigurasi *rods* dalam mereduksi variabel-variabel diatas. Sugiwanto (2013) meneliti sebuah silinder kaku yang diberikan *helical rods* bergap, penelitian yang dilakukan meliputi variasi diameter (0.0125D, 0.0625D dan 0.1875) dan pitch (15D dan 30D) *rods*. Dengan gap yang telah ditentukan sebesar 0.0625D, dari variasi tersebut memberikan kesimpulan dengan menggunakan variasi diameter *rods* 0.0625D serta pitch 15D dapat mereduksi *drag force* sebesar 45%. Beu (2013) melakukan penelitian mengenai studi numerik menggunakan CFD pengaruh bentuk *passive control device* berupa *helical rod* ber-gap terhadap VIV pada *long flexible riser*. Hasil yang diperoleh adalah pemasangan *helical rods* ber-gap dengan pitch 17.5D dan 5D pada silinder dengan ratio gap $\delta/D = 0.375$, sangat efektif meredam gaya fluida yaitu sebesar 45%.

Dalam penelitian kali ini akan dilakukan pemodelan silinder yang mengacu pada penelitian sugiwanto dan memberikan inovasi pemberian rod dengan variasi *gap* 0.4-12mm yang diharapkan dapat terjadi pengurangan pada gaya hidrodinamis yang bekerja pada silinder. Karena pada dasarnya gaya hidrodinamis tidak sepenuhnya dapat dihilangkan dari kondisi nyata pada aliran fluida yang melalui sebuah objek silinder pada khususnya.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 *Vortex shedding*

Vorteks adalah suatu aliran dimana partikel fluida berotasi pada aliran di belakang struktur. Pelepasan vorteks disebut *vortex shedding*. Secara sederhana, mekanisme terjadinya pelepasan *vortex* pada kasus aliran air melalui sebuah silinder dapat diterangkan sebagai berikut: Jika $Re > 40$, maka pasangan vortices yang terbentuk menjadi tidak stabil oleh gangguan/usikan kecil, sehingga salah satu *vortex* akan tumbuh lebih besar dari yang lainnya seperti yang dapat dilihat dalam gambar 2.1 berikut:

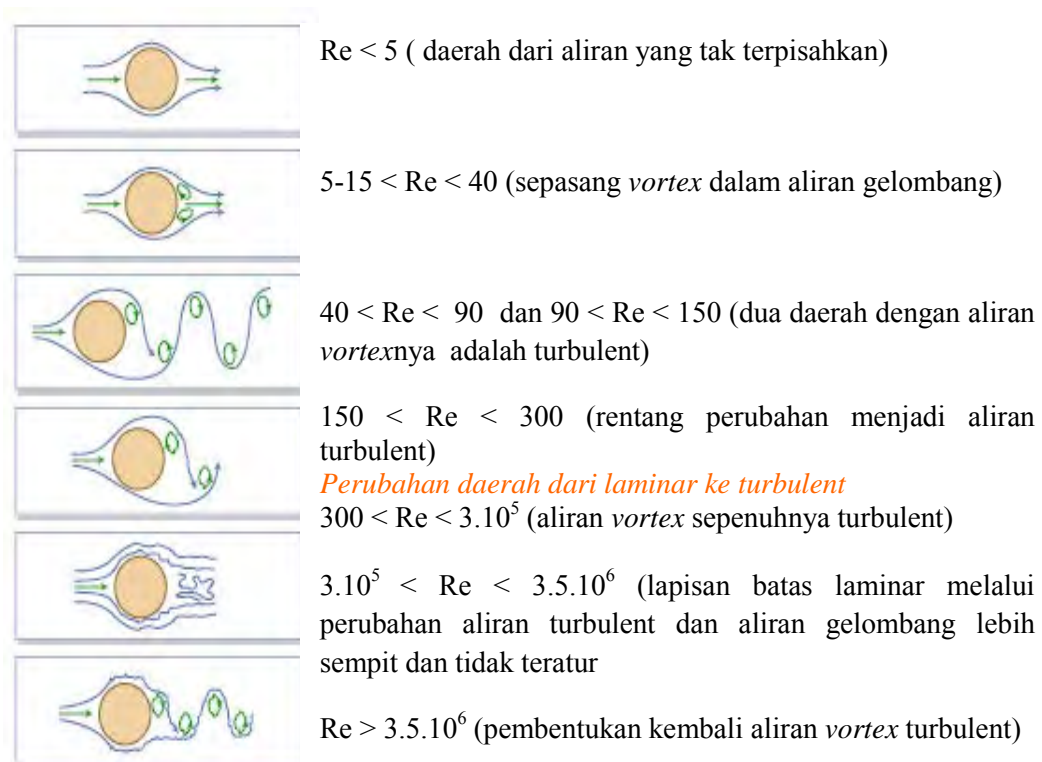


Gambar 2.1. simulasi *vortex shedding*

Vorticity dalam *Vortex A* berputar searah jarum jam (CW), sedangkan vorticity dalam *Vortex B* berputar berlawanan arah jarum jam (CCW). Selanjutnya gerakan aliran vorticity yang CCW akan memotong aliran vorticity yang mensuplay *Vortex A*, sehingga *Vortex A* terlepas lalu menjadi *vortex* bebas dan terseret aliran

ke arah belakang/menjauhi silinder. Setelah *vortex* A terlepas, terbentuklah *vortex* baru menggantikan *vortex* A yaitu *Vortex* C. Maka selanjutnya, *Vortex* B akan mengalami hal yang sama dengan *Vortex* A sebelumnya, yaitu pertama, ukuran dan kekuatannya makin membesar lalu terpotong oleh *vortex* C dan akhirnya terlepas menjadi *vortex* bebas. Proses seperti ini akan terus berlanjut setiap terjadi pelepasan *vortex* baru pada setiap sisi silinder.

Jadi pelepasan *vortex* hanya akan terjadi jika terdapat interaksi antara dua lapisan geser (*shear layer*) pada dua sisi silinder. Secara teoritik hal ini bisa dihindarkan dengan cara meniadakan interaksi tersebut. Misalnya dengan cara memberikan suatu pelat pemisah di bagian belakang silinder di antara dua lapisan tsb. Sehingga interaksi antar *vortex* bisa dicegah, yang akhirnya tidak terjadi pelepasan *vortex* (Prastianto). Bentuk-bentuk aliran fluida berbeda-beda untuk setiap range harga *Reynolds number* yang berbeda. Hal ini dapat digunakan untuk mengetahui kondisi aliran di daerah tersebut, bentuk aliran-aliran tersebut yaitu:



Gambar 2.2. Daerah aliran (Lienhard, 1966 dalam Techet, 2005)

Berdasarkan gambar 2.2 dapat diketahui fenomena terbentuknya *vortex* di belakang silinder yaitu:

1. Untuk harga $Re < 5$, aliran yang melewati silinder bulat belum mengalami pemisahan artinya pada harga tersebut sama sekali belum terbentuk *vortex* di belakang silinder. Semakin besarnya harga Re maka sifat aliran yang melewati silinder bulat akan semakin tidak teratur sehingga pada harga $5 < Re < 40$ akan terbentuk sepasang *foppl vortices* di bagian belakang aliran dari silinder.
2. Semakin besarnya harga Re yaitu pada harga $40 < Re < 90$ dan $90 < Re < 150$ maka akan terbentuk 2 daerah pembentuk *vortex* yaitu pada bagian sisi kanan dan kiri dari silinder dimana sifat dari *vortex* yang terbentuk adalah laminar.
3. Harga Re yaitu $150 < Re < 3 \cdot 10^5$, *vortex shedding* menjadi kurang teratur. Pada kondisi ini separation point berada kira-kira 70° - 80° dari posisi *stagnation point*. Pada rentang harga tersebut akan tampak bahwa akan muncul bentuk aliran turbulen.
4. Pada harga Re yaitu $3 \cdot 10^5 < Re < 3.5 \cdot 10^6$ laminar boundary condition membentuk atau memisahkan pada awalnya yaitu kira-kira 90° - 100° (sedikit ke depan daripada *translation point* ke/menjadi aliran turbulen). Keadaan transisi dari laminar menjadi turbulent akan menciptakan aliran semakin tidak teratur sehingga pada daerah ini akan terbentuk *bubble*.
5. Untuk harga Re yaitu $Re > 3.5 \cdot 10^6$, *vortex shedding* kembali menjadi reguler. *Translention/separation point* menjadi berada pada posisi sedikit di depan setengah silinder. Pada keadaan ini daerah di belakang silinder secara tetap terbentuk *turbulence separation* hingga mencapai harga 10^7 .

Berdasarkan gambar 2.2 dapat diketahui bahwa bentuk aliran *vortex* yang terjadi adalah tidak sama untuk setiap harga *Reynolds number*. Semakin tinggi harga *Reynolds number* maka aliran *vortex* yang terjadi semakin sedikit dan semakin tidak teratur. Dalam *vortex shedding* ada beberapa parameter yang perlu diketahui, berikut merupakan parameter yang dipakai dalam perhitungan *vortex*

shedding. Parameter pertama, adalah *Reynolds number* (Re). Re menyatakan level turbulensi pada aliran, perkiraan lokasi separation point (Gracia, 2008). Re merupakan parameter tak berdimensi yang sangat dikenal dalam ilmu mekanika fluida. Nama ini diberikan sebagai penghargaan bagi Osborne Reynolds. Insinyur dari Inggris yang pertama kali mendemonstrasikan bahwa kombinasi dari variabel-variabel dapat digunakan sebagai suatu patokan untuk membedakan aliran laminar dan turbulen. Re didefinisikan sebagai ukuran dari rasio gaya inersia terhadap gaya viskositas (Munson dkk, 2002).

$$R_e = \frac{Ud}{\nu} \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan:

Re = *Reynolds number*

Re < 10⁵ (batas aliran laminar)

U = kecepatan partikel (m/s)

D = diameter struktur (m)

ν = viskositas kinematis air (m²/s)

Parameter kedua adalah Strouhal Number. Bilangan ini menunjukkan ukuran dari rasio gaya inersia akibat ketidak-tunakan aliran (percepatan lokal) terhadap gaya inersia akibat perubahan kecepatan dari satu titik ke titik lain dalam suatu aliran fluida. Sering kali St mempunyai nilai 0,21, nilai tersebut adalah pendekatan tepat untuk rentan Re yang luas pada silinder

$$S_t = \frac{f_s d}{U} \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan:

f_s = frekuensi *vortex shedding* (Hz)

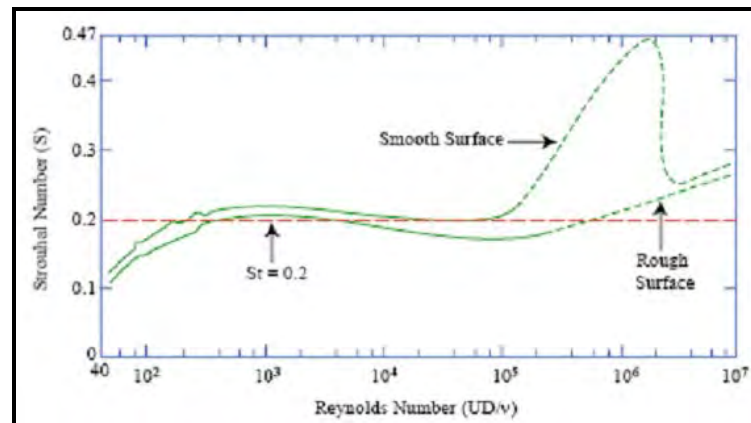
S_t = strouhal number

= 0.2 untuk silinder bulat

U = kecepatan partikel (m/s)

D = diameter struktur (m)

Pada Gambar 2.3. dapat dilihat hubungan antara Reynolds number dan Strouhal number. Harga strouhal dan Reynold number dipengaruhi oleh kekasaran permukaan silinder itu sendiri. Dari Gambar 2.3. dapat diketahui bahwa harga $St = 0.21$ pada saat Re antara 40 sampai 200. Harga tersebut berubah seiring dengan perubahan harga Reynolds number.



Gambar 2.3. Hubungan *Reynolds number* dan *Strouhal Number* (Chakrabarti 2005)

Harga *Strouhal number* silinder yang permukaannya kasar dengan silinder yang permukaannya halus untuk harga *Reynolds number* kurang 10^5 tidak terlalu jauh perbedaannya. Pada saat $10^5 < Re < 10^6$ selisih harga *Strouhal number* nya cukup besar. Tetapi pada saat harga *Reynolds number* mendekati 10^7 selisih harga *Strouhal number* lebih kecil sama seperti pada saat harga *Reynolds number* kurang 10^5 . Dalam Bayun Guo (2005) reduced velocity adalah kecepatan dimana osilasi akibat *vortex shedding* terjadi. *Reduced velocity* digunakan untuk penentuan pada kecepatan berapa terjadi getaran/osilasi akibat *vortex shedding*. Persamaan *reduce velocity* adalah sebagai berikut:

$$V_m = \frac{U}{f_n D} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan:

- V_m = reduced velocity
- U = kecepatan partikel (m/s)
- f_n = frekuensi (Hz)
- D = diameter struktur (m)

Apabila aliran melewati pipa, maka aliran yang terbentuk setelah melewati pipa tidak stabil, sehingga menyebabkan pipa beresonansi. Ketika aliran melewati silinder maka akan terjadi flow separation dan terbentuk *vortex* di belakang pipa. *Vortex* tersebut akan menyebabkan perubahan tekanan hidrodinamis pada silinder. Frekuensi *Vortex shedding* bergantung pada kecepatan aliran dan diameter silinder. Jika frekuensi vorteks mendekati sama dengan frekuensi freespan silinder, maka akan terjadi resonansi. Didalam Guo (2005), nilai frekuensi *vortex shedding* dapat dihitung dengan persamaan:

$$f_s = \frac{S_t U}{D} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

f_s = frekuensi *vortex shedding* (Hz)

S_t = strouhal number
= 0.2 untuk silinder bulat

U = kecepatan partikel (m/s)

D = diameter struktur (m)

2.2.2 Model Turbulensi

2.2.2.1 K-epsilon (k-ε)

Model ini merupakan model turbulensi semi empiris yang lengkap. Walaupun masih sederhana, memungkinkan untuk dua persamaan yaitu kecepatan turbulen (turbulent velocity) dan skala panjang (length scale) ditentukan secara bebas (independent). Model ini dikembangkan oleh Jones dan Launder. Kestabilan, ekonomis (dari segi komputansi), dan akurasi yang cukup memadai membuat model ini sering digunakan dalam simulasi fluida dan perpindahan panas.

2.2.2.2 K-omega (k-ω)

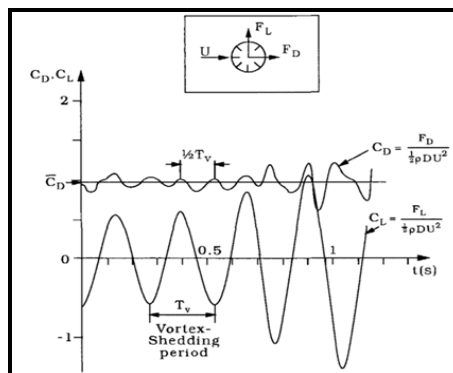
Turbulensi yang berdasarkan Wilcox komega telah memasukkan beberapa modifikasi untuk menghitung efek aliran pada bilangan Reynolds rendah, kompresibilitas, dan penyebaran aliran geser (shear flow). Selain itu, model ini juga mampu diaplikasikan untuk aliran dalam saluran maupun aliran bebas geseran (free shear flow)

2.2.2.3 SST K-omega (k- ω)

Model turbulensi SST k- ω [Menter 1993] terdiri dari dua model persamaan eddy-viskositas yang telah menjadi sangat populer. Persamaan Shear Stress Transport (SST) formulasi menggabungkan yang terbaik dari dua dunia. Penggunaan formulasi k- ω di bagian dalam lapisan batas membuat model langsung dapat digunakan sepanjang jalan turun ke dinding melalui kental sub-lapisan, maka SST Model k- ω dapat digunakan sebagai Low-Re Model turbulensi tanpa fungsi redaman tambahan. Formulasi SST juga beralih ke perilaku k- ϵ dalam bebas aliran dan dengan demikian menghindari masalah k- ω umum bahwa model ini terlalu sensitif terhadap inlet bebas aliran sifat turbulensi. Penulis yang menggunakan SST Model k- ω sering pantas untuk perilaku yang baik dalam gradien tekanan merugikan dan memisahkan aliran. SST Model k- ω tidak menghasilkan sedikit tingkat turbulensi terlalu besar di daerah-daerah dengan besar regangan normal, seperti daerah stagnasi dan daerah dengan akselerasi yang kuat. Kecenderungan ini begitu terasa dibandingkan dengan model k- ϵ yang normal sekalipun.

2.2.3 Drag force dan lift force

Drag force dan *lift force* biasa terjadi pada silinder bulat yang diakibatkan oleh *vortex shedding*. *Lift force* mempunyai arah tegak lurus terhadap silinder sedangkan *drag force* sejajar dengan silinder. Karena pergantian *vortex wake* (Karman street) maka osilasi *lift force* terjadi pada frekuensi *vortex shedding* dan *drag force* terjadi pada dua kali frekuensi *vortex shedding*.



Gambar 2.4. Lift force dan drag force pada silinder (Drescher, 1956)

Sebuah ksperimen yang dilakukan oleh drescher pada tahun 1956 untuk meneliti *drag force* dan *lift force* dari pengukuran distribusi tekanan yang terlihat dalam gambar 2.4. dapat dilihat bahwa drag maupun *lift force* berosilasi dengan frekuensi *vortex shedding*.

Bentuk-bentuk tak berdimensi dari *lift* dan *drag force* adalah *lift coefficient* (C_L) dan *drag coefficient* (C_D). C_L dan C_D didefinisikan sebagai berikut:

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho A U^2} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho A U^2} \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan:

C_L = *Lift coefficient*

C_D = *Drag coefficient*

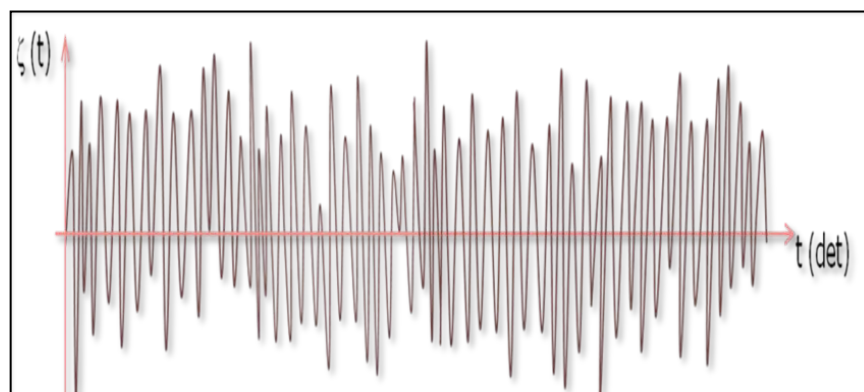
ρ = Berat jenis air laut (kg/m^3)

U = Kecepatan fluida (m/s)

A = Area (m^2)

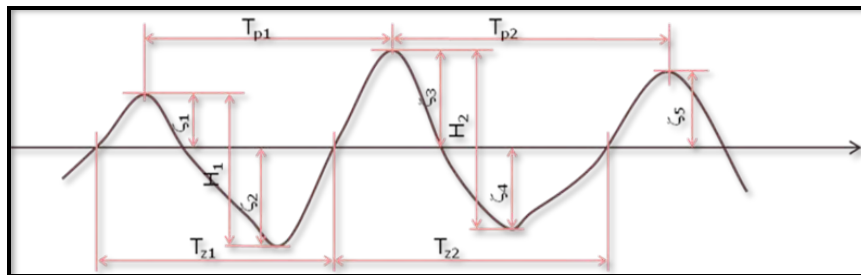
2.2.4 Teori Sinyal Gelombang Acak (*Random Wave Signal*)

Amplitudo yang dihasilkan akibat adanya interaksi antara fluida dan struktur adalah berupa sinyal gelombang acak (*Random Wave Signal*). Untuk menganalisa hal ini sama halnya dengan cara menganalisa gelombang acak.



Gambar 2.5. Contoh *time history* rekaman gelombang acak (Djatkiko, 2009)

Karena sinyal gelombang yang berbentuk gelombang acak, sehingga teori gelombang regular tidak dapat secara langsung menjelaskannya. Oleh karena itu, diterapkan metode statistik untuk mengkuantifikasi sifat gelombang acak ini.



Gambar 2.6. Definisi pengukuran gelombang acak (Djarmiko, 2009)

Dari gambar 2.6, ada beberapa definisi yang terdapat pada pengukuran gelombang acak, yaitu:

1. T_z (*Zero up-crossing period*): Periode yang diukur saat gelombang naik yang memotong datum sampai gelombang naik lagi memotong datum
2. T_z (*Zero down-crossing period*): Periode yang diukur saat gelombang turun yang memotong datum sampai gelombang turun lagi memotong datum
3. $H_{rata-rata}$ (Tinggi gelombang rata-rata): Tinggi gelombang yang didapat dari penjumlahan penjumlahan tinggi gelombang yang diukur dibagi dengan jumlah kejadian.
4. $H_{1/3}$ (Tinggi gelombang signifikan): Harga rata-rata dari penjumlahan 1/3 gelombang yang tertinggi dari pengukuran, dibagi dengan jumlah gelombang tersebut
5. $H_{1/10}$: Harga rata-rata dari penjumlahan 1/10 gelombang yang tertinggi dari pengukuran, dibagi dengan jumlah gelombang tersebut
6. $H_{ekstrim}$: Tinggi gelombang terbesar yang mungkin terjadi.
7. H_{RMS} : Harga statistik dari suatu besaran tinggi yang bervariasi atau harga akar kuadrat dari rata-rata kuadrat (*Root Mean Square*). Berikut adalah persamaannya:

$$H_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{X=0}^{X=N} H^2}{n}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Untuk menginisial suatu gelombang di lapangan biasanya menggunakan $H_{1/3}$ Karena $H_{1/3}$ adalah tinggi di atas rata-rata. Jika menggunakan $H_{1/10}$ atau Hekstrim akan terjadi *over design*. Sedangkan dalam periode waktu yang panjang, gelombang ektrim hanya terjadi beberapa kali. Dan jika menggunakan $H_{rata-rata}$ struktur tersebut kurang kuat untuk menahan beban lingkungan. Sehingga digunakanlah $H_{1/3}$ untuk mendesain suatu struktur. Agar struktur kuat dan tidak *over design*.

2.2.5 Analisis FFT (*Fast Fourier Transform*)

Proses pembentukan gelombang secara kontinyu menunjukkan bahwa suatu *time history* gelombang yang diambil dalam waktu T_H dapat dinyatakan dalam deret Fourier:

$$\zeta(t) = \bar{\zeta} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(\omega_n t) + B_n \sin(\omega_n t) \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan harga-harga frekuensi:

$$\omega_n = \frac{2\pi n}{T_H} (\text{rad / s}) \quad \text{untuk } n = 1, 2, 3, \dots, \infty \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

dengan :

$$A_n = \frac{2\pi}{T_H} \int_0^H \zeta(t) \cos(\omega_n t) dt \quad \text{dan} \quad B_n = \frac{2\pi}{T_H} \int_0^H \zeta(t) \sin(\omega_n t) dt$$

Sehingga, Persamaan (2.9) dapat disederhanakan menjadi :

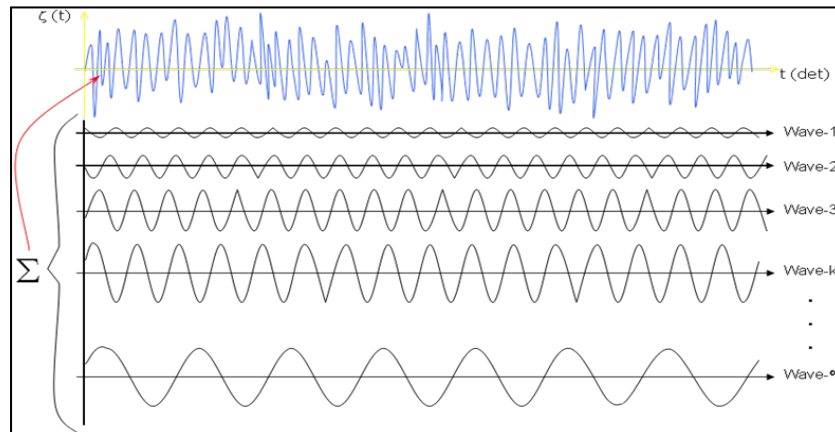
$$\zeta(t) = \bar{\zeta} + \sum_{n=1}^{\infty} \zeta_{n0} \cos(\omega_n t + \varepsilon_n) \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana :

$$\zeta_{n0} = \sqrt{(A_n^2 + B_n^2)}$$

$$\varepsilon_n = a \tan\left(-\frac{B_n}{A_n}\right)$$

Persamaan (2.8) dan (2.10) menunjukkan bahwa suatu sinyal gelombang acak merupakan superposisi atau penjumlahan sinyal gelombang-gelombang regular dalam jumlah tidak berhingga. Dapat dilihat pada gambar 2.7



Gambar 2.7. Gelombang acak merupakan superposisi gelombang reguler dalam jumlah ∞ (Djarmiko, 2009)

2.2.6 Computational Fluid Dynamics

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah metode perhitungan dengan sebuah kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi komputer untuk melakukan perhitungan pada tiap-tiap elemen pembagiannya. Prinsipnya adalah suatu ruang yang berisi fluida yang akan dilakukan penghitungan dibagi menjadi beberapa bagian, hal ini sering disebut dengan sel dan prosesnya dinamakan *meshing*. Bagian-bagian yang terbagi tersebut merupakan sebuah kontrol penghitungan yang akan dilakukan adalah aplikasi. Kontrol-kontrol penghitungan ini beserta kontrol-kontrol penghitungan lainnya merupakan pembagian ruang yang disebut tadi atau *meshing*. Nantinya, pada setiap titik kontrol penghitungan akan dilakukan penghitungan oleh aplikasi dengan batasan domain dan *boundary condition* yang telah ditentukan. Prinsip inilah yang banyak dipakai pada proses penghitungan dengan menggunakan bantuan komputasi komputer. Contoh lain penerapan prinsip ini adalah *Finite Element Analysis* (FEA) yang digunakan untuk menghitung tegangan yang terjadi pada benda solid.

Sejarah CFD berawal pada tahun 60-an dan terkenal pada tahun 70-an awalnya pemakaian konsep CFD hanya digunakan untuk aliran fluida dan reaksi kimia, namun seiring dengan perkembangannya industri ditahun 90-an membuat CFD

makin dibutuhkan pada berbagai aplikasi lain. Contoh sekarang ini banyak sekali paket-paket software CAD menyertakan konsep CFD yang dipakai untuk menganalisa stress yang terjadi pada disain yang dibuat. Pemakaian CFD secara umum dipakai untuk memprediksi : Aliran dan panas, transfer massa, perubahan fasa seperti pada proses melting, pengembunan dan pendidihan, reaksi kimia seperti pembakaran, gerakan mekanis seperti piston dan fan, tegangan dan tumpuan pada benda solid, gelembung elektromagnetik. secara umum proses penghitungan CFD terdiri atas 3 bagian utama: *Preprocessor*, *Processor* dan *Post processor*.

Preprocessor adalah tahap dimana data diinput mulai dari pendefinisian domain serta pendefinisian kondisi batas atau boundary condition. Ditahap ini juga sebuah benda atau ruangan yang akan dianalisa dibagi-bagi dengan jumlah grid tertentu atau sering juga disebut dengan *meshing*. Tahap selanjutnya adalah *processor*, pada tahap ini dilakukan proses penghitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif. Artinya penghitungan dilakukan hingga hasil menuju error terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Penghitungan dilakukan secara menyeluruh terhadap volume kontrol dengan proses integrasi persamaan diskrit. Tahap akhir merupakan tahap *post processor* dimana hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik bahkan animasi dengan pola warna tertentu.

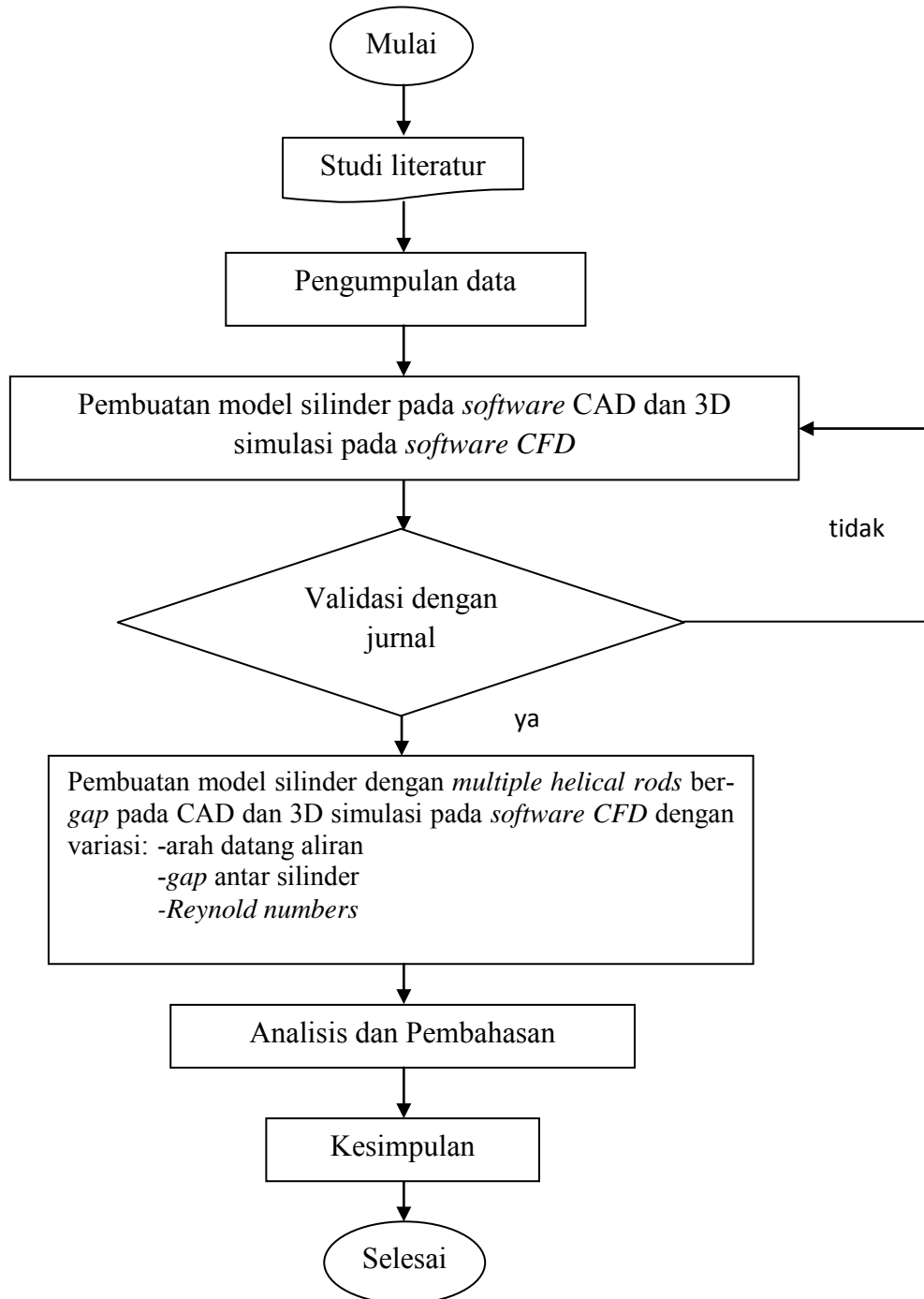
Hal yang paling mendasar mengapa konsep CFD (*software CFD*) banyak sekali digunakan dalam dunia industri adalah dengan CFD dapat dilakukan analisa terhadap suatu sistem dengan mengurangi biaya eksperimen dan tentunya waktu yang panjang dalam melakukan eksperimen tersebut. Dalam proses design engineering tahap yang harus dilakukan menjadi lebih pendek. Hal ini yang mendasari pemakaian konsep CFD adalah pemahaman lebih dalam akan suatu masalah yang akan diselesaikan atau dalam hal ini pemahaman lebih dalam mengenai karakteristik aliran fluida dengan melihat hasil berupa grafik, vector dan animasi.

halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

METODA PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1. Diagram alir metoda penelitian

3.2 Metodologi Penelitian

Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini ada beberapa tahapan, dimana tahapan-tahapan merupakan langkah yang digunakan dalam proses perhitungan. Adapun langkah-langkahnya antara lain :

1. Studi literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan referensi dari jurnal ilmiah dan buku-buku yang relevan dengan penelitian. Tahap ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran dan pemahaman terhadap materi.

2. Data silinder

Data dilinder yang dipakai merupakan hasil penelitian dari agung sugiwanto, agung sugiwanto telah melakukan beberapa variasi (diameter *rods*, panjang *pitch*) untuk mendapatkan gaya hidrodinamis yang paling efektif. Dalam pemodelan, penelitian ini dilakukan pemodelan 3D. Berikut adalah dimensi yang paling optimum hasil penelitian dari Agung Sugiwardo:

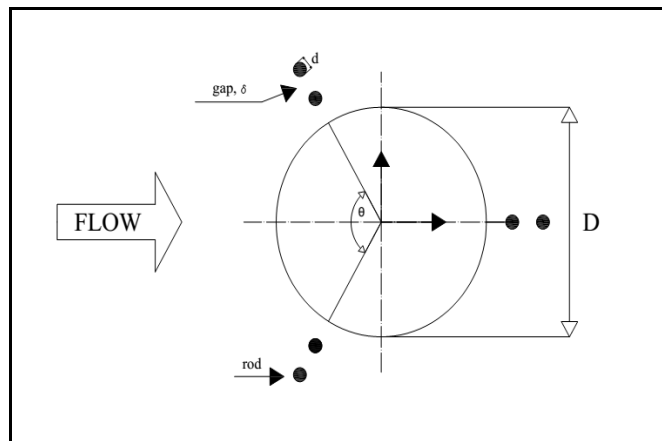
- diameter *rods*: 0.02m
- diameter silinder: 0.325m
- panjang silinder: 4.875m

3. Pembuatan model

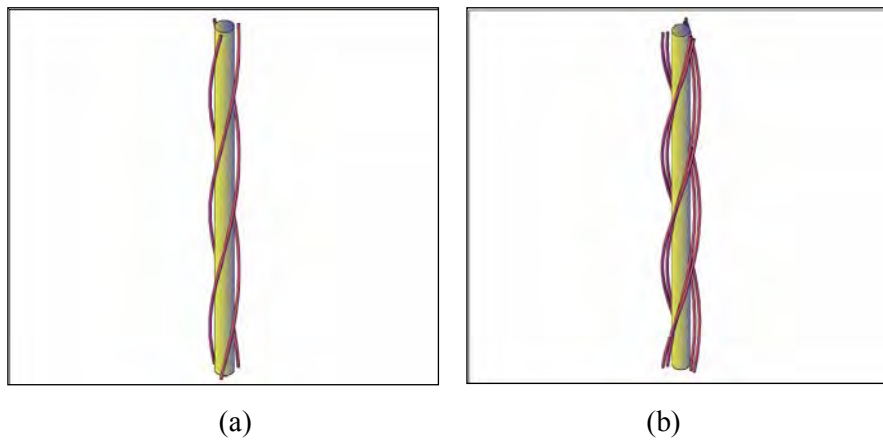
Pembuatan model dilakukan dengan 3D yang menggunakan *software* CFD. Pada tahap pertama akan dilakukan pemodelan *bare cylinder*, pemodelan ini bertujuan untuk mendapatkan validasi terhadap jurnal yang dipakai dalam penelitian kali ini, yakni: “*NUMERICAL PREDICTION OF BARE AND STRAKED CYLINDER VIV*”, dalam tahap ini akan didapatkan C_D yang nilainya mendekati dengan nilai yang dihasilkan dalam eksperimen dala jurnal tersebut. Setelah dilakukan validasi maka dapat dilanjutkan ke tahap selanjutnya, yakni penambahan *rods* pada silinder utama yang telah tervalidasi. Dalam pembuatan model ini beberapa variasi akan dilakukan terhadap kondisi silinder. Yakni sebagai berikut:

- *Reynolds number*: 1×10^3 , 1×10^4 , 1×10^5
- Peletakan *rods* simetris dengan sudut (θ) antar rod sebesar 120°
- Arah datang aliran fluida 0° , 15° , 30° , 45° , 60°

Penggunaan *Reynolds number* sedemikian sehingga dapat dikomparasi dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan variasi tersebut. Pemilihan tersebut juga berfungsi untuk mengetahui karakteristik aliran dalam kondisi turbulensi yang berbeda.



Gambar 3.2. Konfigurasi *multiple* silinder 2D

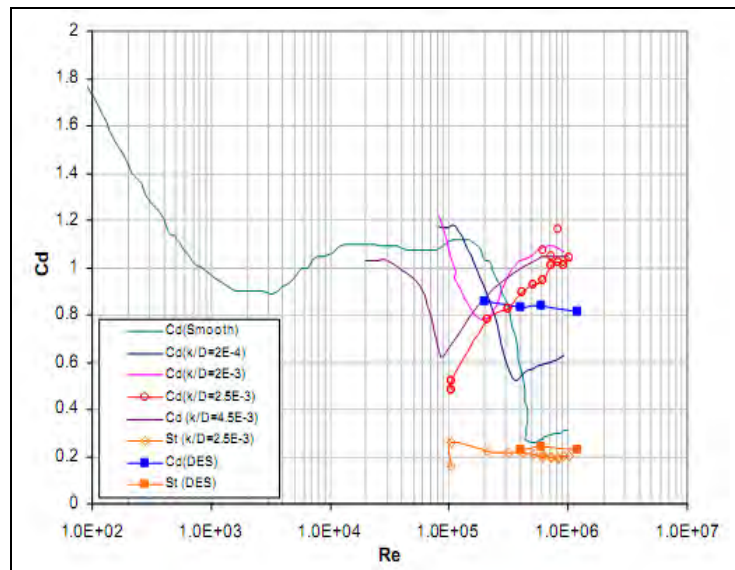


Gambar 3.3. (a) silinder dengan *helical rods* ber-gap

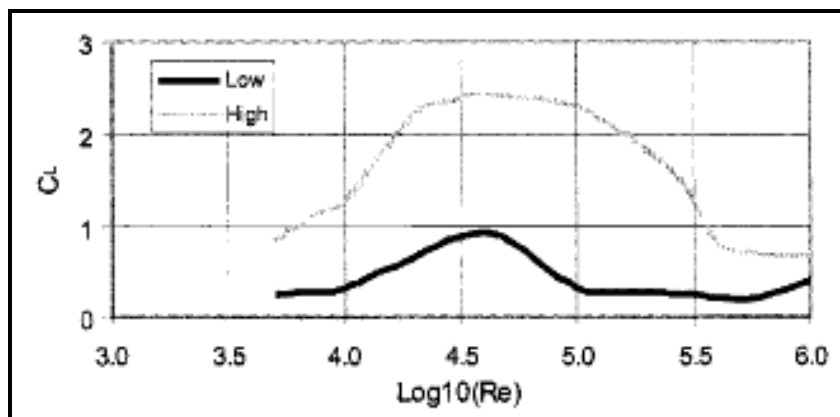
(b) silinder dengan *multiple helical rods* ber-gap

4. Validasi model

Pada tahap ini akan dibandingkan C_D antara percobaan fisik yang dilakukan oleh constantinides (2006) dan gaya fluida dari hasil analisa CFD pada *bare cylinder* , diharapkan perbedaan antara kedua C_D hasil dari kedua percobaan tersebut memperoleh hasil dengan perbedaan seminimal mungkin. Berikut adalah grafik koefisien *drag* (C_D) dan *lift* (C_L) yang akan dijadikan sebagai parameter validasi.



Gambar 3.4. Grafik C_D hasil eksperimen (Chimbala, 2006)



Gambar 3.5. Grafik nilai C_L hasil eksperimen (Chakrabakti,2005)

Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa garis hijau merupakan C_D pada variasi Re yang diujikan pada *smooth cylinder*. Pemodelan yang dilakukan pada analisis numeris diharapkan memperoleh hasil yang mendekati nilai dari uji eksperimen diatas.

5. Analisa dan pembahasan

Analisa yang dilakukan meliputi 3 hal, untuk analisa yang pertama adalah menjelaskan pola aliran yang terbentuk pada pemasangan *rods* pada *bare cylinder*. Analisa ini akan menjelaskan secara detail pola aliran sesaat sebelum, saat maupun setelah melewati konfigurasi *bare cylinder* yang telah direncanakan.

Adapun analisa yang kedua adalah pengaruh pemasangan *rods* pada *bare cylinder* terhadap frekuensi *vortex shedding* yang terjadi. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan model yang terbaik dalam mereduksi frekuensi *vortex shedding*. Pada analisa terakhir ini akan dilakukan terhadap gaya hidrodinamis dari konfigurasi silinder yang telah ditetapkan. Gaya hidrodinamis ini meliputi *drag force* dan *lift force*.

6. Kesimpulan

Tahap ini akan menjelaskan konfigurasi terbaik dalam penelitian yang telah dilakukan dengan tujuan agar hasil penelitian ini dapat dimaksimalkan oleh siapapun yang berkompeten untuk melanjutkan maupun berinovasi.

halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil serta pembahasan dari simulasi aliran tiga dimensi pada silinder baik yang polos maupun menggunakan *passive device control*, beberapa hal yang akan dibahas berkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan dan juga akan tervalidasi dengan penelitian terkait. CFD digunakan sebagai alat untuk mensimulasikan penelitian secara numeris dengan variasi-variasi yang telah dibahas sebelumnya.

4.1 Studi *grid independent*

Tahap yang paling penting dan krusial dalam simulasi CFD adalah *grid independent*. Selain itu, keberhasilan simulasi CFD tergantung pada kualitas mesh. dalam hal ini, beberapa jenis domain dan *grid* telah dihasilkan dan kualitas mesh terbaik akan dipilih untuk simulasi lebih lanjut.

Tujuan dari penelitian *grid independent* adalah untuk secara tepat menentukan ukuran *grid* untuk menghasilkan hasil yang akurat. *Grid independent* dianggap dicapai ketika Solusi tidak terpengaruh lagi oleh ukuran *grid*. Dalam penelitian ini, aliran 3-dimensi di $Re = 1000$ simulasi telah dilakukan untuk 6 ukuran yang berbeda dari *grid*. Dalam penelitian untuk mendapatkan hasil yang sesuai, beberapa permasalahan dihadapi, diantaranya adalah C_D yang terus menerus turun dalam proses simulasi, C_D yang konstan dalam proses simulasi. Setelah melalui beberapa analisa dapat diketahui permasalahan yang dihadapi dalam proses simulasi. Pentingnya konfigurasi mesh dalam pemodelan CFD menjadi aspek yang paling mempengaruhi hasil dari simulasi CFD itu sendiri.

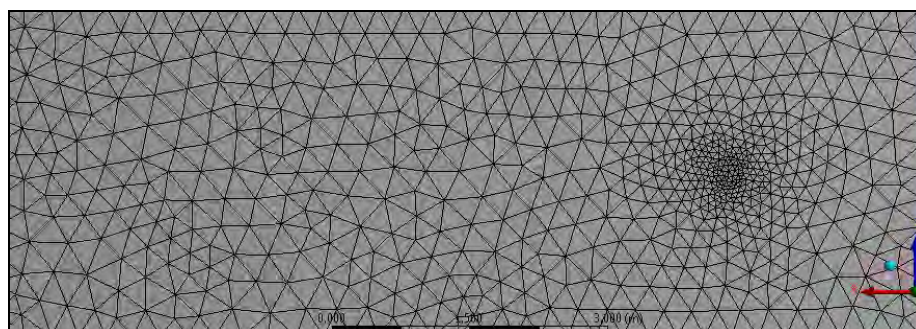
Dalam proses percobaan konfigurasi *meshing* pada *bare cylinder* telah dilakukan beberapa kali, hasil tersebut dapat dilihat dalam tabel 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 dan 4.6 dengan kode masing-masing simulasi serta grafik *sensitivitas meshing* pada gambar 4.1. dalam tabel serta gambar tersebut dapat dilihat perbedaan konfigurasi *meshing* serta dapat dijadikan acuan untuk pengerjaan simulasi yang erat

kaitannya dengan penelitian ini. Dalam proses ini, jenis aliran yang digunakan adalah laminar. Setelah didapatkan hasil yang konvergen maka akan dilanjutkan ke tahap selanjutnya yakni proses validasi C_D yang menggunakan aliran turbulen jenis K-Epsilon dengan beberapa parameternya.

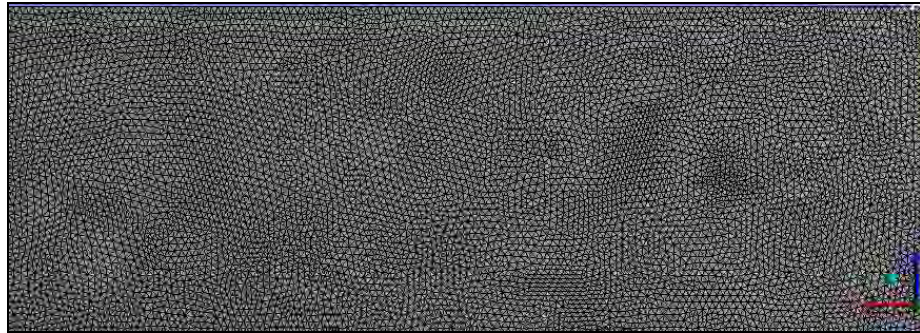
Tabel 4.1 Hasil Analisa Sensivitas *Meshing* Dengan Nilai $Re = 10^3$
kode simulasi 1

Nomor Simulasi	Jumlah Elemen	C_d
S11	205095	0.839
S12	538151	0.834
S13	1110423	0.827
S14	1554619	0.825
S15	2022600	0.787
S16	6433665	0.531

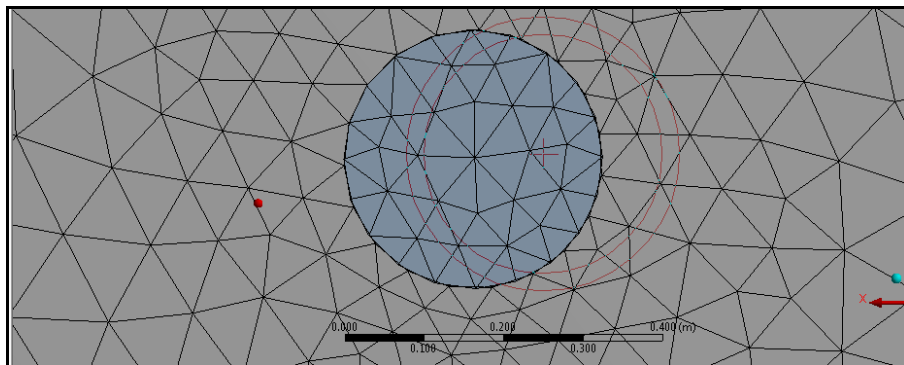
Pada kode simulasi 1 ini, penelitian terhadap *bare cylinder* menggunakan konfigurasi *meshing automatic* pada metodenya dan peneliti hanya mengatur jumlah elemen sehingga terjadi kenaikan jumlah elemen pada setiap simulasinya. Hal ini memberikan hasil yang tidak konvergen, dapat dilihat bahwa C_D pada konfigurasi ini terus mengalami penurunan pada jumlah elemen yang tinggi. Penurunan tersebut disebabkan interaksi *meshing* pada silinder dan domain yang selalu berubah bergantung pada jumlah elemen pada saat simulasi. Adapun hasil visualisasi dari konfigurasi *meshing* dapat dilihat pada gambar 4.1, gambar 4.2 dan gambar 4.3 berikut:



Gambar 4.1 Visualisasi *meshing* kode simulasi 1 nomor simulasi S11 *bare cylinder* dan domainnya



Gambar 4.2 Visualisasi *meshing* kode simulasi 1 nomor simulasi S13 *bare cylinder* dan domainnya



Gambar 4.3 Visualisasi *meshing* kode simulasi 1 disekitar silinder

Dalam visualisasi *meshing* pada gambar 4.1 dan gambar 4.2 terdapat perbedaan ukuran *meshing* secara keseluruhan, dapat dilihat bahwa dengan konfigurasi *meshing* kode simulasi 1 penambahan jumlah elemen berimbas pada keseluruhan *meshing*, baik *bare cylinder* maupun domainnya. Konfigurasi *meshing* ini juga berimbas pada lamanya komputasi model.

Tabel 4.2 Hasil Analisa *Sensitivitas Meshing* Dengan Nilai $Re = 10^3$ kode simulasi 2

Nomor Simulasi	Jumlah Elemen	Cd
S21	346634	0.963
S22	663151	0.963
S23	1276121	0.963
S24	2047941	0.963
S25	3788966	0.963
S26	5114538	0.963

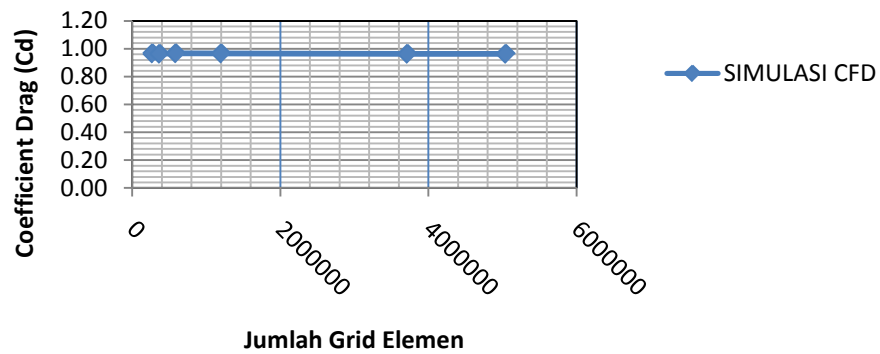
Berbeda dengan simulasi sebelumnya, pada kode simulasi 2 kali ini, peneliti mencoba mengatur seluruh konfigurasi *meshing* secara manual, pada metode *meshing*, dipilih tetrahedrons dikarenakan bentuknya yang dapat menyesuaikan segala bentuk *meshing* dan familiar dalam banyak penelitian. Dalam simulasi ini kerapatan *meshing* difokuskan pada *bare cylinder* dan memberikan tambahan layer yang berjarak 0.05m pada *meshing* sekitar silinder sejumlah 5 layer, hal ini bertujuan untuk memberikan interaksi yang konstan antara *meshing* pada silinder dengan domainnya.

Dari hasil konfigurasi tersebut dapat dilihat bahwa C_D yang didapat mengalami perubahan yang signifikan dari simulasi sebelumnya, namun tidak adanya fluktuasi dari C_D tersebut membuat konfigurasi ini dirasa kurang maksimal dikarenakan dengan adanya interaksi antar *meshing*, sehingga akan ada perubahan nilai yang didapat dan nantinya akan mendapatkan nilai yang konvergen.

Tabel 4.3 Hasil Analisa *Sensitivitas Meshing* Dengan Nilai $Re = 10^3$
kode simulasi 3

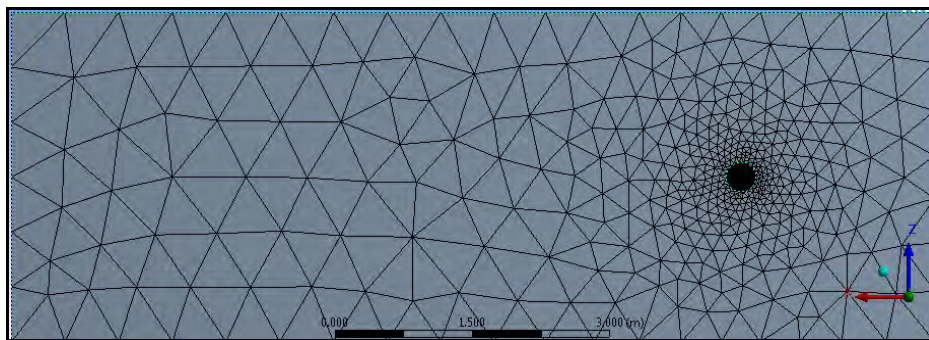
Nomor Simulasi	Jumlah Elemen	Cd
S31	271830	0.966
S32	368902	0.963
S33	587917	0.966
S34	1201019	0.966
S35	3715448	0.963
S36	5044575	0.963

Dengan tetap menggunakan konfigurasi dari kode simulasi 2, kode simulasi 3 berikut ini akan sedikit memodifikasi konfigurasi dari kode simulasi 2, dengan adanya indikasi interaksi antar *meshing* pada silinder dengan domainnya sehingga jarak antara layer dengan silinder diperkecil menjadi 0.005m. perubahan jarak ini ternyata mendapatkan hasil yang lebih baik, adanya interaksi antara *meshing* pada *bare cylinder* dengan domainnya pada setiap penambahan jumlah elemen memberikan hasil yang positif dengan C_D yang konvergen. Seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.4 berikut:

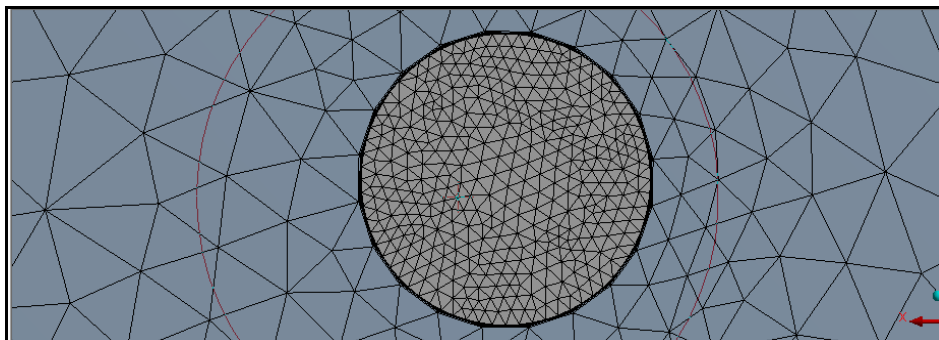


Gambar 4.4 Sensitivitas *meshing* pada *bare cylinder*

Hasil visualisasi *meshing* dari kode simulasi 2 dan 3 dapat diwakilkan dengan visualisasi kode simulasi 3 pada gambar 4.5 dan gambar 4.6 berikut:



Gambar 4.5 Visualisasi *meshing* kode simulasi 3 *bare cylinder* dan domainnya



Gambar 4.6 Visualisasi *meshing* kode simulasi 3 disekitar silinder

Pada gambar 4.6 terlihat perbedaannya dengan gambar 4.3, dengan adanya penambahan layer di sekitar silinder, terlihat penebalan garis hitam di sekitar *bare*

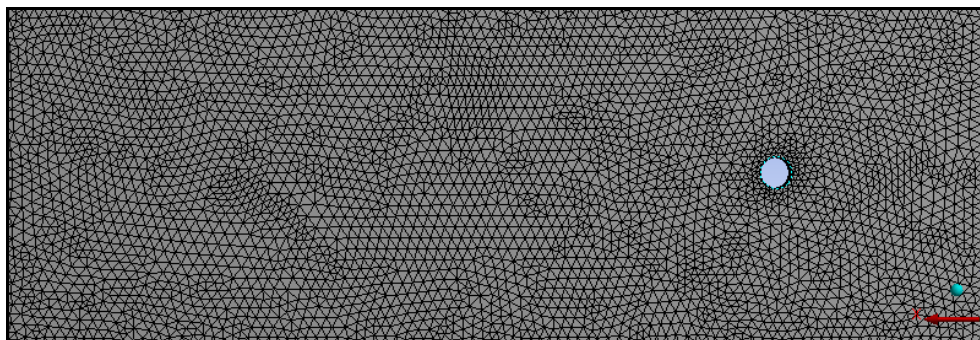
cylinder, layer tersebut yang berfungsi untuk mempertahankan interaksi *meshing* antara *bare cylinder* dengan domainnya.

Adapun pada simulasi terakhir yang dilakukan pada konfigurasi *bare cylinder* adalah dengan menghilangkan *meshing* pada silinder dan menaikkan tingkat kehalusan pada tingkat medium yang sebelumnya adalah *coarse*. Hasil visualisasi *meshing* pada simulasi kali ini dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Hasil Analisa Sensivitas *Meshing* Dengan Nilai $Re = 10^3$
kode simulasi 4

Nomor simulasi	Jumlah elemen	Nilai Cd
S41	161568	0.939
S42	315903	0.942
S43	572537	0.952
S44	1050902	0.954
S45	1334753	0.955
S46	1605071	0.959
S47	1757723	0.960
S48	1804691	0.952
S49	1834347	0.953
S410	1875649	0.958
S411	1915632	0.953
S412	1949534	0.952

Dengan visualisasi *meshing* yang dapat dilihat pada gambar 4.7 berikut:

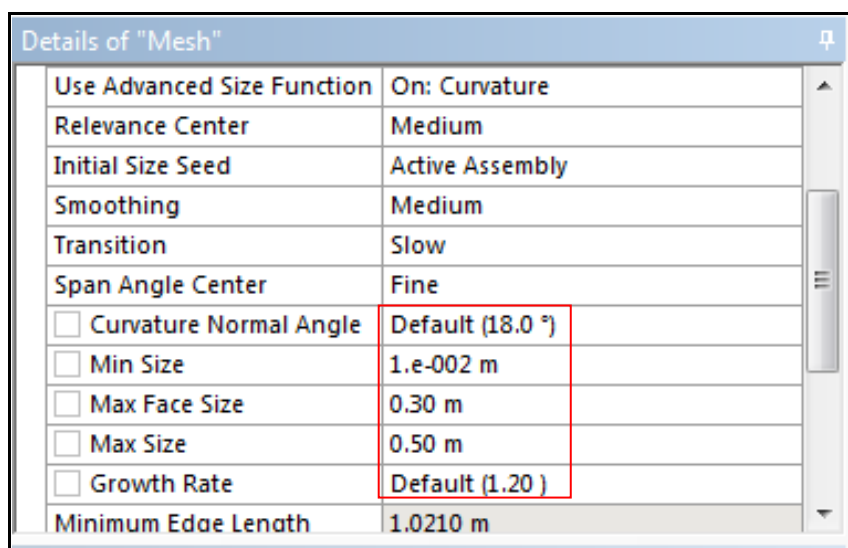


Gambar 4.7 Visualisasi *meshing* kode simulasi 4 *bare cylinder* dan domainnya

Pada konfigurasi *meshing* kali ini, silinder dihilangkan dari proses *meshing*, hal ini bertujuan untuk memperkecil kemungkinan adanya interaksi *meshing* pada silinder dengan *meshing* pada domain yang pada akhirnya mempengaruhi aliran

disekitar silinder. Proses ini juga dapat memperkecil jumlah elemen *meshing*, pada konfigurasi ini juga menggunakan tools inflation yang mempertahankan jumlah *meshing* disekitar silinder. Pada konfigurasi kali ini juga memiliki perbedaan turbulensi dari simulasi sebelumnya, simulasi kali ini menggunakan turbulensi *Shear Stress Transport (SST)*.

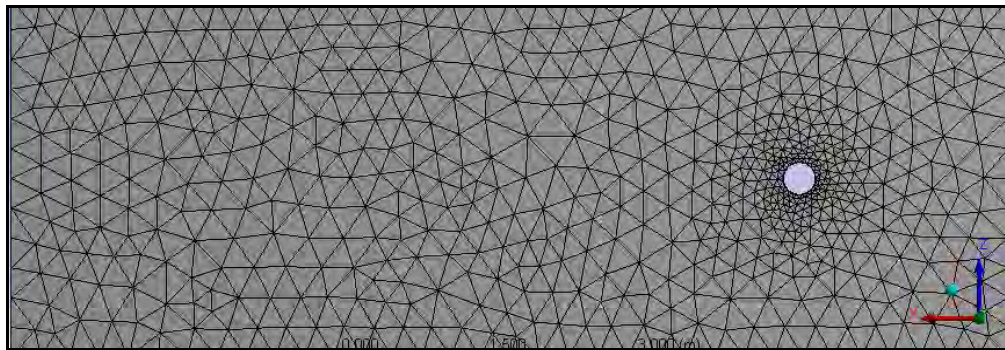
Pada simulasi kode 5, penelitian terhadap *meshing* akan menggunakan metode yang berbeda, dengan mempertimbangkan waktu pengerjaan, *grid independent*, serta jumlah elemen pada simulasi selanjutnya maka konfigurasi akan dilakukan dengan cara merubah variabel-variabel pada elemen disekitar silinder agar lebih rapat dibandingkan dengan elemen di area yang lain. parameter itu dapat dilihat pada gambar 4.8 dibawah ini



Details of "Mesh"	
Use Advanced Size Function	On: Curvature
Relevance Center	Medium
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (18.0 °)
<input type="checkbox"/> Min Size	1.e-002 m
<input type="checkbox"/> Max Face Size	0.30 m
<input type="checkbox"/> Max Size	0.50 m
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1.20)
Minimum Edge Length	1.0210 m

Gambar 4.8 Variabel-variabel konfigurasi *meshing* K1

Variabel-variabel tersebut yang mempengaruhi konfigurasi *meshing*, berikut adalah visualisasi dari perubahan variabel diatas. sebagai awalan, terlebih dahulu akan divisualisasikan konfigurasi diatas sebagai acuan untuk perubahan dari variabel-variabel terhadap visualisasi dari bentuk *meshing* yang terjadi, konfigurasi pertama akan diberikan kode K1 yang nanti akan dilihat perbedaannya dengan kode konfigurasi yang lain. Visualisasi dari konfigurasi *meshing* diatas dapat terlihat pada gambar 4.9 dibawah ini



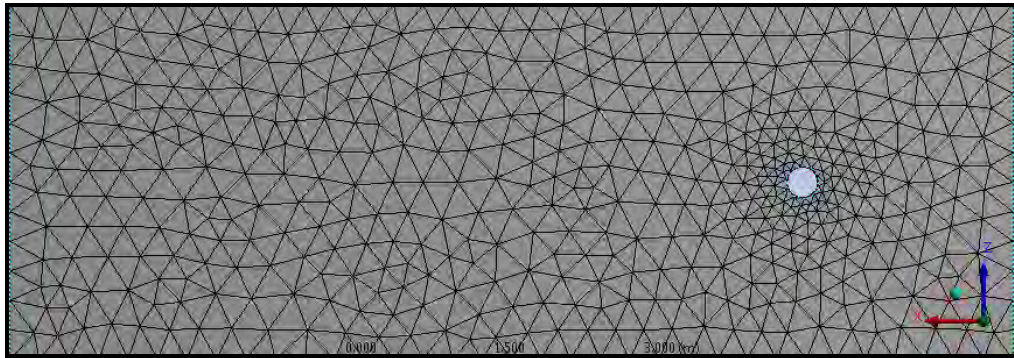
Gambar 4.9 visualisasi konfigurasi *meshing* K1

Dengan menggunakan konfigurasi diatas maka dapat dilihat bahwa elemen disekitar silinder lebih rapat bila dibandingkan dengan elemen di area yang lain. pada konfigurasi *meshing* K2.... - KN+1 dilakukan perubahan pada satu variabel, hal ini bertujuan untuk mengetahui perubahan elemen yang terjadi di sekitar silinder. pada konfigurasi *meshing* K2, variabel yang akan diubah adalah *min size*, terlihat pada gambar 4.10 dibawah ini

Details of "Mesh"	
Use Advanced Size Function	On: Curvature
Relevance Center	Medium
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (18.0 °)
<input type="checkbox"/> Min Size	0.10 m
<input type="checkbox"/> Max Face Size	0.30 m
<input type="checkbox"/> Max Size	0.50 m
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1.20)
Minimum Edge Length	1.0210 m

Gambar 4.10 Variabel-variabel konfigurasi *meshing* K2

Pada konfigurasi K2, nilai yang diubah adalah *min size*, dapat dilihat pada gambar 4.8 yang merupakan acuan dari konfigurasi *meshing*, nilai *min size* pada K2 lebih besar menjadi 0.1 m. visualisasi dari konfigurasi *meshing* K2 dapat dilihat pada gambar 4.11.



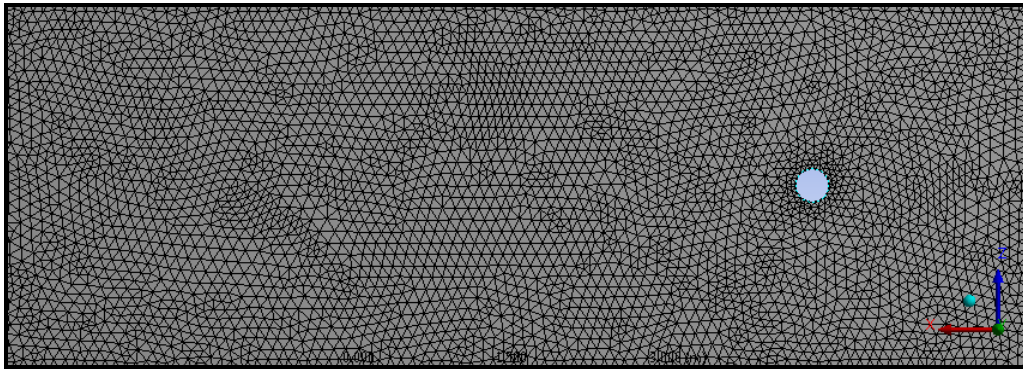
Gambar 4.11 visualisasi konfigurasi *meshing* K2

Pada visualisasi konfigurasi *meshing* K2 dapat terlihat perbedaan terhadap perubahan variabel *min size* bila dibandingkan dengan konfigurasi *meshing* K1, pada konfigurasi *meshing* K2, elemen disekitar silinder jauh lebih renggang. berikutnya adalah variabel *max face size*, terlihat pada gambar 4.12 dibawah ini

Details of "Mesh"	
Use Advanced Size Function	On: Curvature
Relevance Center	Medium
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (18.0 °)
<input type="checkbox"/> Min Size	1.e-002 m
<input type="checkbox"/> Max Face Size	0.10 m
<input type="checkbox"/> Max Size	0.50 m
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1.20)
Minimum Edge Length	1.0210 m

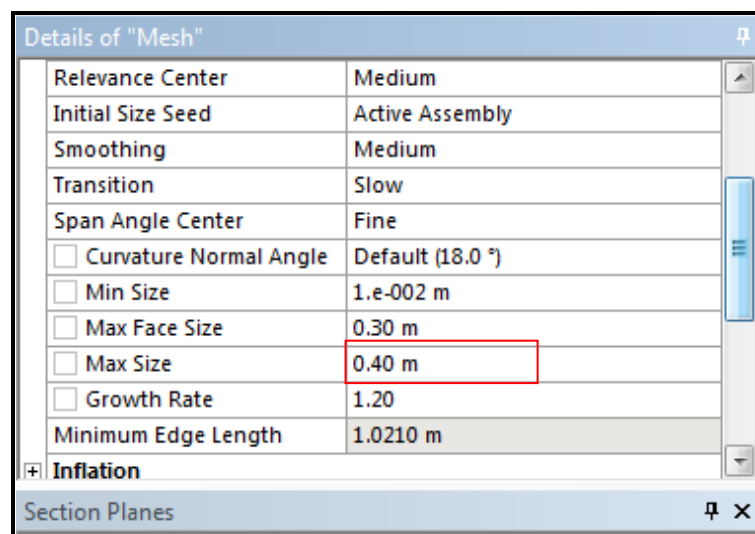
Gambar 4.11 Variabel-variabel konfigurasi *meshing* K3

Pada konfigurasi K3, nilai yang diubah adalah max face size, dapat dilihat pada gambar 4.8 yang merupakan acuan dari konfigurasi *meshing*, nilai *max face size* pada K3 lebih kecil menjadi 0.1 m. visualisasi dari konfigurasi *meshing* K3 dapat dilihat pada gambar 4.12.



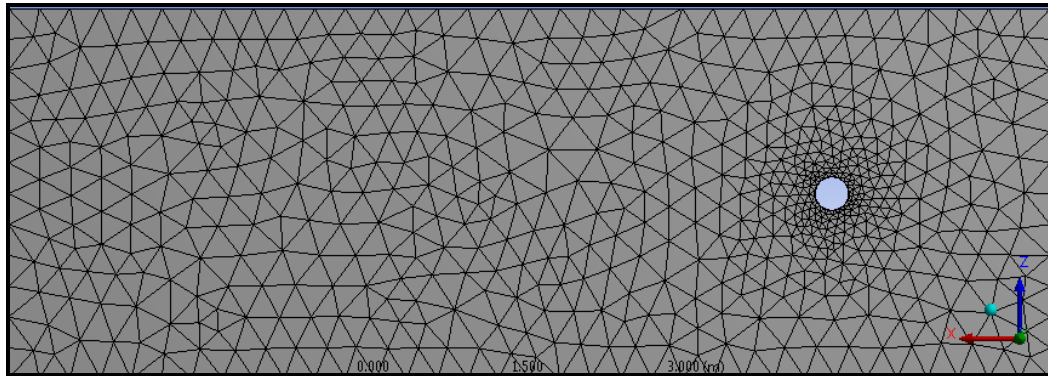
Gambar 4.12 visualisasi konfigurasi *meshing* K3

Pada visualisasi konfigurasi *meshing* K3 dapat terlihat perbedaan terhadap perubahan variabel *max face size* bila dibandingkan dengan konfigurasi *meshing* K1, pada konfigurasi *meshing* K3, elemen disekitar memiliki ukuran yang relatif sama dengan elemen di luasan yang lain. Berikutnya adalah variabel *max size*, terlihat pada gambar 4.13 dibawah ini



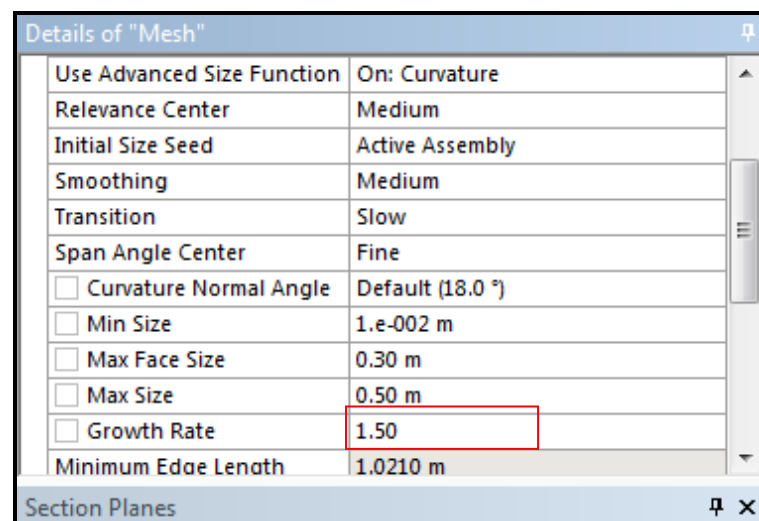
Gambar 4.13 Variabel-variabel konfigurasi *meshing* K4

Pada konfigurasi K4, nilai yang diubah adalah *max size*, dapat dilihat pada gambar 4.8 yang merupakan acuan dari konfigurasi *meshing*, nilai *max size* pada K4 lebih kecil menjadi 0.4 m. visualisasi dari konfigurasi *meshing* K4 dapat dilihat pada gambar 4.14.



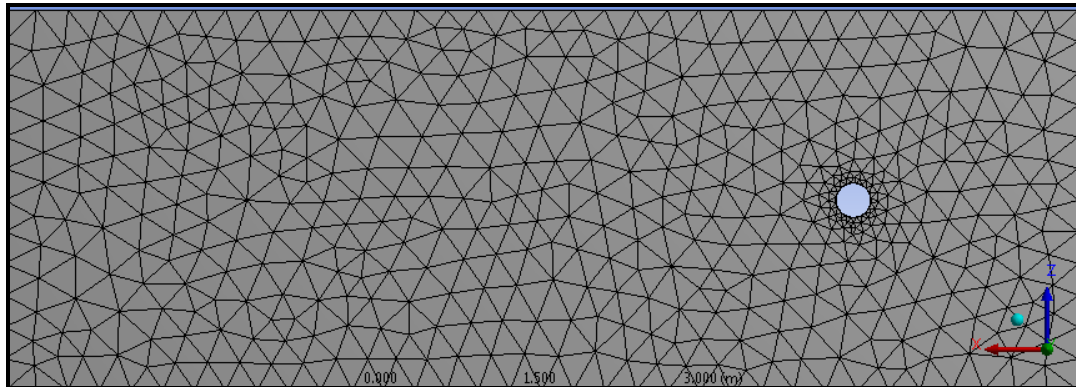
Gambar 4.14 visualisasi konfigurasi *meshing* K4

Pada visualisasi konfigurasi *meshing* K4 dapat terlihat tidak adanya perbedaan yang signifikan secara visual dengan konfigurasi *meshing* K1. Berikutnya adalah variabel *growth rate*, terlihat pada gambar 4.15 dibawah ini



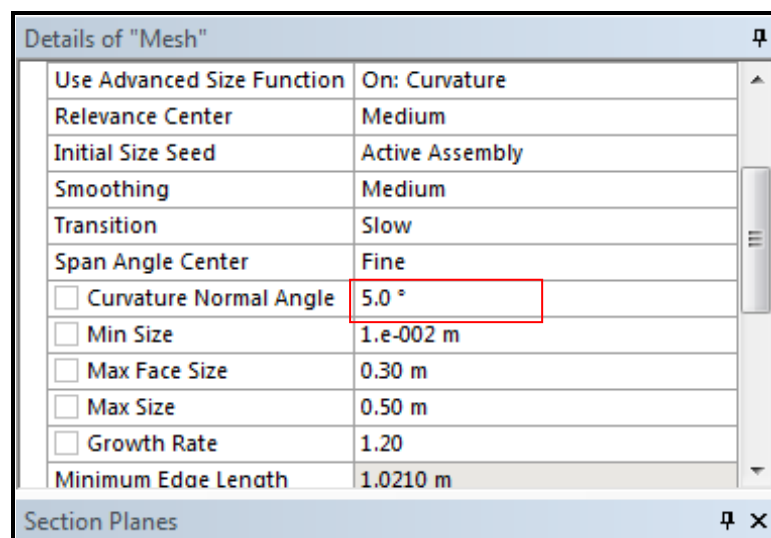
Gambar 4.15 Variabel-variabel konfigurasi *meshing* K5

Pada konfigurasi K5, nilai yang diubah adalah *growth rate*, dapat dilihat pada gambar 4.8 yang merupakan acuan dari konfigurasi *meshing*, nilai *growth rate* pada K5 lebih besar menjadi 1.5. visualisasi dari konfigurasi *meshing* K5 dapat dilihat pada gambar 4.16.



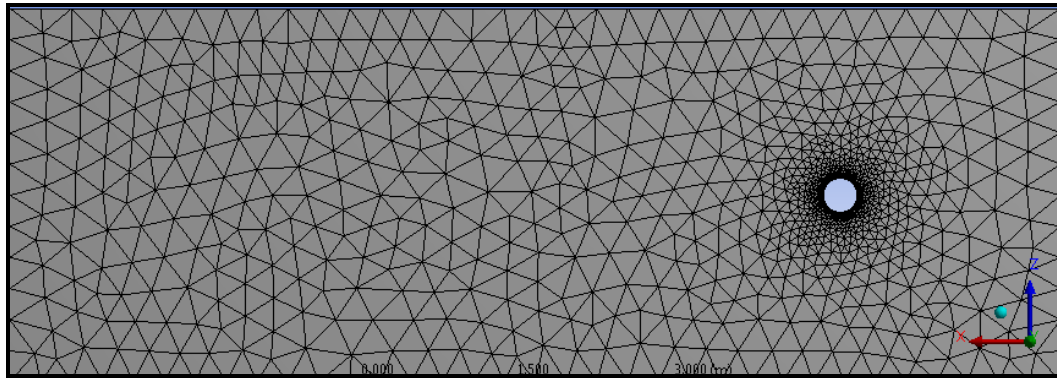
Gambar 4.16 visualisasi konfigurasi *meshing* K5

Pada visualisasi konfigurasi *meshing* K5 dapat terlihat perbedaan terhadap perubahan variabel *growth rate* bila dibandingkan dengan konfigurasi *meshing* K1, pada konfigurasi *meshing* K5 perubahan ukuran disekitar silinder yang signifikan tanpa melalui transisi yang baik. Berikutnya adalah variabel *curvature normal angle*, terlihat pada gambar 4.17 dibawah ini



Gambar 4.17 Variabel-variabel konfigurasi *meshing* K6

Pada konfigurasi K6, nilai yang diubah adalah *curvature normal angle*, dapat dilihat pada gambar 4.8 yang merupakan acuan dari konfigurasi *meshing*, nilai *curvature normal angle* pada K6 lebih kecil menjadi 5°. visualisasi dari konfigurasi *meshing* K6 dapat dilihat pada gambar 4.18



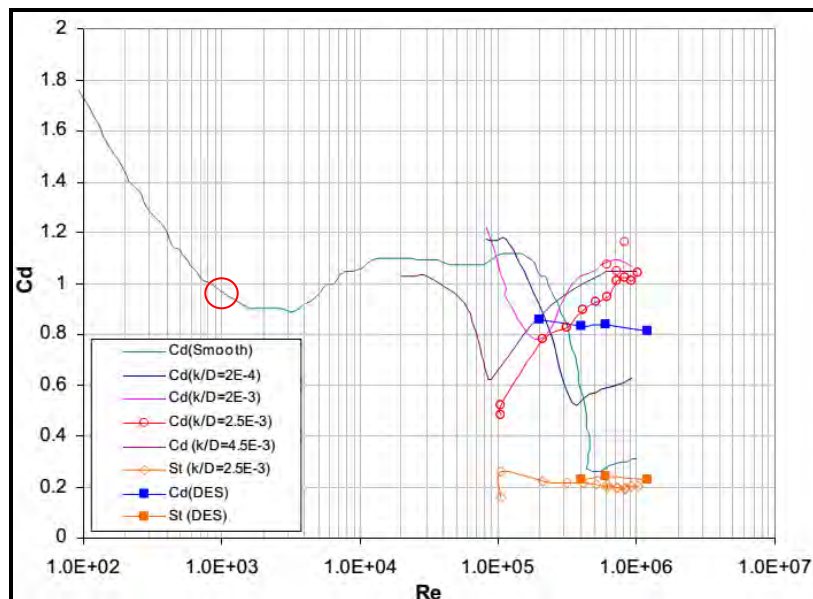
Gambar 4.18 visualisasi konfigurasi *meshing* K6

Pada visualisasi konfigurasi *meshing* K6 dapat terlihat perbedaan terhadap perubahan variabel *curvature normal angle* bila dibandingkan dengan konfigurasi *meshing* K1, pada konfigurasi *meshing* K6 perubahan ukuran disekitar silinder yang lebih rapat dengan transisi yang baik.

Berbeda dengan sebelum-sebelumnya, pada simulasi kode 5, semua simulasi menggunakan laminar. setelah mendapatkan konfigurasi *meshing* yang sesuai, maka akan dimasukkan turbulensi dengan jenis SST. Hal ini disebabkan dengan adanya referensi bahwa dalam penggunaan parameter K-epsilon diatas perlu adanya pendalaman lebih lanjut. Turbulen SST merupakan pengembangan dari turbulensi K-epsilon dan K-omega yang digabung menjadi satu sehingga menjadikan turbulensi ini memiliki dua karakteristik yang menggabungkan kelebihan dari masing-masing turbulen K-epsilon serta K-omega.

4.2 Validasi hasil

Dalam tahap ini, proses validasi dilakukan dengan membandingkan hasil dari eksperimen yang diwakilkan dengan jurnal internasional milik Yiannis Constantinides dan Owen H. Oakley, Jr yang berjudul *numerical prediction of bare and straked cylinder viv*. Dalam *paper* tersebut dipaparkan beberapa hasil eksperimen, salah satunya yaitu grafik C_D pada *bare cylinder* dalam variasi nilai *Reynolds number*, gambar 4.19 dibawah ini merupakan hasil dari eksperimennya



Gambar 4.19 Prediksi C_d pada silinder kaku pada CFD dan perbandingan dengan eksperimen

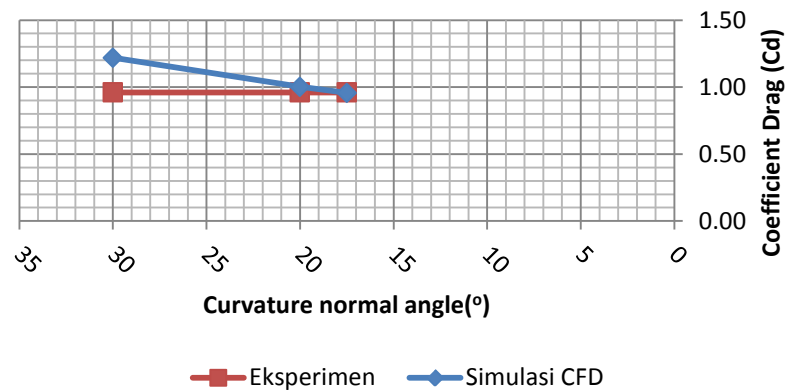
Pada gambar diatas, grafik yang menggunakan garis berwarna hijau merupakan grafik C_D pada silinder kaku dengan eksperimen. Grafik ini yang akan menjadi acuan dalam proses validasi dengan hasil dari penelitian ini dan lingkaran merah pada garis tersebut merupakan C_D yang akan di validasi dengan hasil prediksi dengan CFD, yakni pada $Re = 10^3$.

Dengan mempertimbangkan simulasi konfigurasi *meshing*, maka dipakailah simulasi terakhir dengan pilihan variabel *curvature normal angle* yang nanti digabung dengan *max face size* sebagai variabel pengubah dalam konfigurasi *meshing*. pengubahan variabel *curvature normal angle* bertujuan untuk memiliki konfigurasi *meshing* dengan kerapatan elemen disekitar silinder yang sesuai dengan C_D dari silinder pada $Re = 10^3$ yang dilakukan secara eksperimen pada gambar 4.19.

Untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan C_D eksperimen, konfigurasi *meshing* dengan melakukan pengubahan *curvature normal angle* yang dimulai pada sudut 30° , kemudian mengalami penurunan hingga mendapatkan nilai yang sesuai dengan harga C_D yakni 0.960. Hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil analisa konfigurasi *meshing* menggunakan variabel *curvature normal angle*

Sudut	Kecepatan (m/s)	RESULTS				validasi cd	Turbulent	RE
		Nodes	Elements	Force (N)	Cd			
30	0.002883477	19064	86456	0.00822978	1.219	0.960	laminar	1000
20	0.002883477	31723	138309	0.00676844	1.003	0.960	laminar	1000
17.5	0.002883477	37951	163252	0.00646122	0.957	0.960	laminar	1000

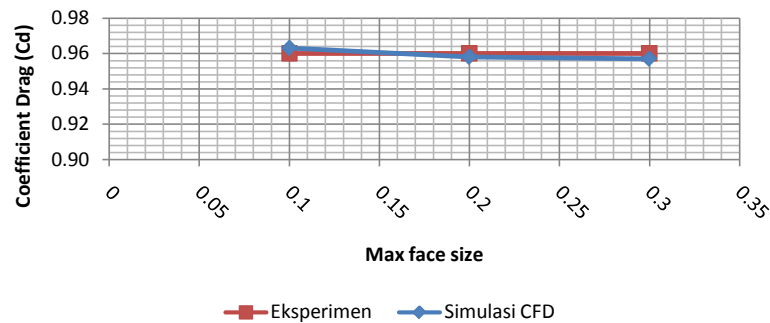


Gambar 4.20 Grafik penurunan C_D dengan menggunakan variabel *curvature normal angle*

Setelah mendapatkan C_D yang sesuai kemudian dilakukan proses *grid independent* dengan menggunakan perubahan pada variabel *max face size* pada simulasi CFD. beberapa percobaan simulasi telah dilakukan hingga mencapai jumlah elemen $\pm 6 \times 10^6$. *meshing* yang rapat bukanlah aspek yang menentukan baik atau tidaknya sebuah aliran yang terjadi pada domain disekitar silinder. dengan menggunakan konfigurasi yang tepat sepertipada simulasi kode 5 pe rubahan *curvature normal angle* yang menitik beratkan jumlah *meshing* yang terkontrol pada daerah sekitar silinder membuat analisa komputasi lebih detail pada daerah tersebut dan lebih efisien dalam segi waktu komputasi. dengan memakai batasan jumlah elemen sebanyak 5×10^5 . Hasil *grid independent* dapat terlihat dalam tabel 4.6

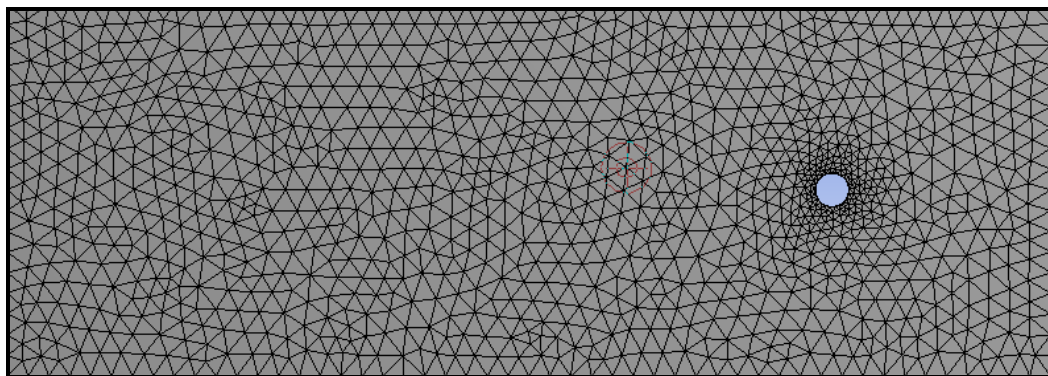
Tabel 4.6 Hasil analisa *grid independent* menggunakan variabel max face size

MFS	Kecepatan (m/s)	RESULTS				validasi cd	Turbulent	RE
		Nodes	Elements	Force (N)	Cd			
0.3	0.002883477	37951	163252	0.00646122	0.957	0.960	laminar	1000
0.2	0.002883477	48585	218135	0.00646775	0.958	0.960	laminar	1000
0.1	0.002883477	116548	577349	0.00650207	0.963	0.960	laminar	1000



Gambar 4.21 Grafik *grid independence* menggunakan variabel *max face size*

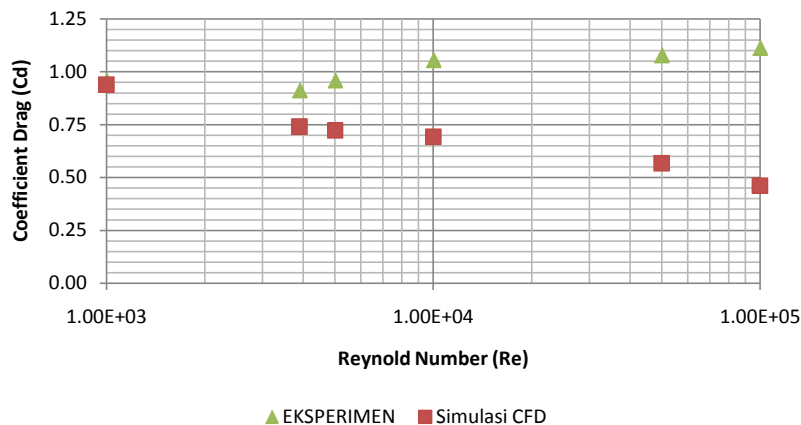
setelah melalui proses *grid independent*, konfigurasi *meshing* yang digunakan adalah dengan variabel *max face size* 0.2, pada konfigurasi ini, bentuk *meshing* perlahan lebih rapat pada daerah sekitar silinder, visualisasi dapat terlihat pada gambar 4.22 dibawah ini



Gambar 4.22 visualisasi konfigurasi *meshing grid independence*

Konfigurasi ini yang akan menjadi acuan konfigurasi *meshing* untuk mensimulasikan seluruh model dalam variasi Re. Dengan menggunakan jenis

turbulensi SST, peneliti mencoba mendapatkan nilai turbulensi yang mendekati dengan hasil eksperimen pada gambar 4.19. Dalam percobaan simulasi menggunakan CFD, hasil dari penggunaan jenis turbulensi SST yang diterapkan dalam proses validasi terhadap *bare cylinder* mendapatkan hasil seperti pada gambar 4.23 dibawah ini.



Gambar 4.23 Prediksi C_D pada CFD dan perbandingan dengan eksperimen

terlihat adanya perbedaan dalam hasil C_D antara hasil simulasi CFD dengan hasil eksperimen, nilai error dari hasil diatas dapat dilihat pada tabel 4.7 dibawah ini

Tabel 4.7 Hasil analisa komparasi C_D simulasi CFD dengan Eksperimen

Re	Kecepatan (m/s)	RESULTS				Cd Eksperimen	Turbulent	Error (%)
		Nodes	Elements	Force (N)	Cd simulasi			
1000	0.002883477	48585	218135	0.006331	0.938	0.960	SST	6.22
3900	0.01124556	48585	218135	0.0759395	0.740	0.913	SST	26.05
5000	0.014417385	48585	218135	0.121763	0.721	0.960	SST	27.86
10000	0.028834769	48585	218135	0.467196	0.692	1.056	SST	30.80
50000	0.144173846	48585	218135	9.55318	0.566	1.078	SST	43.40
100000	0.288347692	48585	218135	31.1047	0.461	1.113	SST	53.93

niali yang dihasilkan dalam hasil percobaan simulasi CFD dapat dikomparasi dengan salah satu penelitian yang dilakukan oleh Professor Heikki Haario dalam paper berjudul *numerical investigation of flow past a circular cylinder and in a*

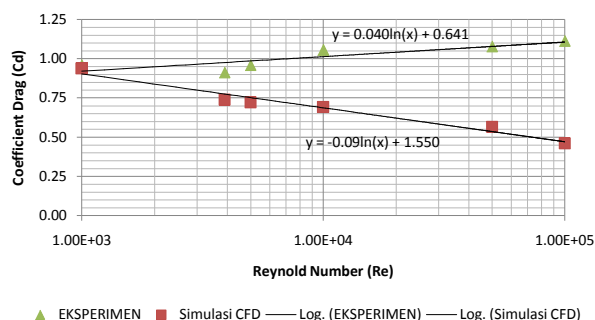
staggered tube bundle using various turbulence models, dalam paper tersebut dijelaskan bahwa proses simulasi menggunakan CFD, paper ini yang selanjutnya akan dijadikan pembanding hasil dari simulasi pengerjain tesis. Hasil simulasi yang dilakukan pada $Re = 10^3$ dan 3.9×10^3 dapat dilihat dalam tabel 4.8 dibawah ini

Tabel 4.8 Hasil analisa komparasi C_D Professor Heiki Haario dan Tesis

Variasi Re	Professor Heiki Haario		Penelitian Tesis		Jenis Turbulensi
	Cd Simulasi	Cd Eksperimen	Cd Simulasi	Cd Eksperimen	
1000	0.9891	0.98 ± 0.005	0.938	0.96 ± 0.005	SST
3900	0.6208	0.93 ± 0.005	0.740	0.913 ± 0.005	SST

Hasil komparasi C_D diatas memberikan pola yang sama antara penelitian yang dilakukan oleh professor Heiki dan penelitian tesis ini, pada $Re = 10^3$, nilai simulasi CFD mendekati nilai eksperimen yang akan di validasi sedangkan pada $Re = 3900$, nilai simulasi memiliki nilai error yang mencapai 33% untuk penelitian professor heiki dan 19% untuk penelitian dalam tesis ini. Terdapat pola yang sama antara kedua penelitian yang dilakukan.

Adanya error antara simulasi CFD C_D dengan eksperimen, maka akan dilakukan penyekalaan C_D simulasi terhadap C_D eksperimen, proses penyekalaan dapat dijabarkan dalam gambar 4.24 dibawah ini



Gambar 4.24 Linearisasi fungsi Re terhadap C_D

Linearisasi fungsi Re hanya berlaku pada nilai $Re = 10^3$ - 10^5 , setelah mendapatkan fungsi dari masing-masing C_D simulasi dan eksperimen sebagai berikut:

$$C_D \text{ Eksperimen} = 0.0404 \times \ln(Re) + 0.6417$$

$$C_D \text{ Simulasi} = -0.094 \times \ln(Re) + 1.5502$$

maka dilakukan proses skala untuk mendekati C_D Eksperimen, proses skala dilakukan dengan menggunakan persamaan sederhana dibawah ini:

$$C_D \text{ Eksperimen} = C_D \text{ Simulasi} \times f(Re)$$

dengan

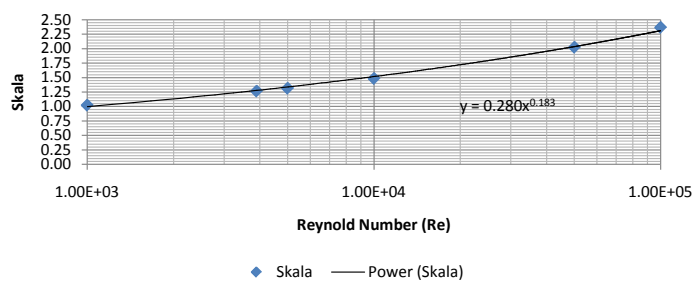
$f(Re)$: Fungsi skala

hasil dari proses skala dapat dilihat dalam tabel 4.9 berikut:

Tabel 4.9 Fungsi skala C_D simulasi dengan eksperimen

FUNGSI EKSPERIMEN	FUNGSI SIMULASI	FUNGSI EKSPERIMEN / FUNGSI SIMULASI
0.921	0.901	1.022
0.976	0.773	1.262
0.986	0.750	1.315
1.014	0.684	1.481
1.079	0.533	2.024
1.107	0.468	2.365

hasil dari nilai fungsi skala pada tabel 4.9 di plot dalam grafik seperti pada gambar 4.25 dibawah ini



Gambar 4.25 Linearisasi fungsi Re terhadap skala

Linearisasi hasil skala kemudian didekati dengan fungsi sebagai berikut:

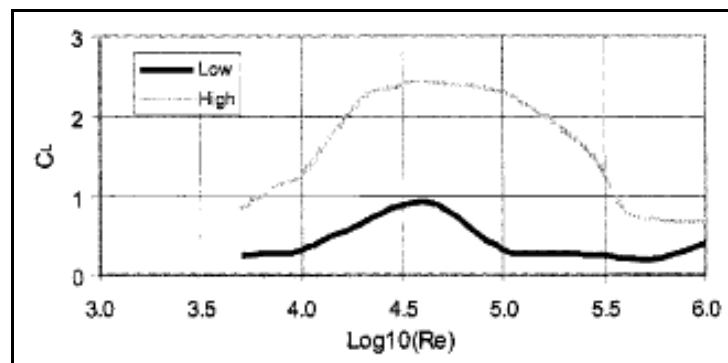
$$f(Re) = 0.2803(Re^{0.1832})$$

pendekatan menggunakan fungsi skala ($f(Re)$) terhadap C_D pada eksperimen masih memiliki rentang error yang terlihat dalam tabel 4.10 berikut

Tabel 4.10 Hasil perhitungan fungsi skala C_D

FUNGSI EKSPERIMEN	FUNGSI SIMULASI	FUNGSI EKSPERIMEN / FUNGSI SIMULASI	FUNGSI SKALA	Cd Fungsi skala	Cd Eksperimen	ERROR(%)
0.921	0.901	1.022	0.994	0.932	0.960	2.940
0.976	0.773	1.262	1.275	0.943	0.913	3.274
0.986	0.750	1.315	1.334	0.963	0.960	0.275
1.014	0.684	1.481	1.515	1.048	1.056	0.717
1.079	0.533	2.024	2.035	1.152	1.078	6.826
1.107	0.468	2.365	2.310	1.064	1.113	4.376

C_D yang dihasilkan melalui proses skala memiliki nilai error terbesar yakni 6.826% pada $Re \ 5 \times 10^5$ dan memiliki error kurang dari 5% pada variasi Re yang akan dijadikan acuan dalam pengerjaan simulasi, yakni $Re = 10^3, 10^4, 10^5$ secara berurutan memiliki error 2.94%, 0.717% dan 4.376%. Dengan pertimbangan nilai error tersebut maka fungsi skala dapat diterapkan dalam simulasi variasi berikutnya. Dengan pekerjaan yang sama, proses ini juga dilakukan untuk mendapatkan fungsi skala pada nilai C_L dengan mengacu kepada grafik nilai C_L berikut



Gambar 4.26 Prediksi nilai C_L pada silinder kaku dengan eksperimen
(Chakrabakti, 2005)

Pada gambar 4.26 terdapat dua garis, garis atas dan garis bawah, hal ini menunjukkan bahwa nilai C_L yang terdapat pada eksperimen menjelaskan bahwa belum adanya ketepatan satu grafik dominan yang menjadi acuan dalam

memvalidasi nilai C_L , sehingga nilai C_L pada simulasi nantinya akan di validasi terhadap nilai-nilai yang berada diantara garis atas dan garis bawah, selama nilai dari simulasi tidak berada diatas maupun dibawah nilai atas dan bawah, dapat diambil kesimpulan bahwa nilai tersebut sudah sesuai dengan nilai C_L pada gambar 4.26. Dengan menggunakan langkah yang sama dalam pencarian C_D , nilai C_L dengan fungsi skala $f(Re) = 7583.4 \times Re^{-0.435}$ didapatkan hasil:

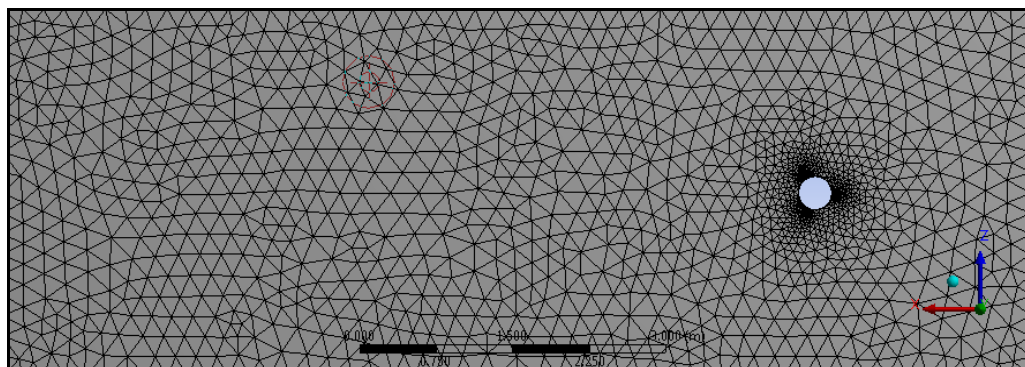
Tabel 4.11 Hasil perhitungan fungsi skala nilai C_L

RE	FUNGSI EKSPERIMEN	FUNGSI SIMULASI	FUNGSI EKSPERIMEN / FUNGSI SIMULASI	FUNGSI SKALA	CI Fungsi skala	CI Eksperimen	ERROR(%)
5000	0.28	0.001495	187.291	194.6632429	0.169007	0.249	32.20757
10000	0.285	0.00198	143.939	144.4910862	0.416531	0.421	1.06153
100000	0.375	0.009	41.667	53.68352883	0.757843	0.745	1.723888
250000	0.525	0.0135	38.88888889	36.20152388	0.913133	0.902	1.234306
500000	0.775	0.001	775	26.87100775	0.751356	0.761	1.267243

4.3 Efek penambahan *rods* terhadap gaya fulida

4.3.1 Pengaruh *helical rods* terhadap gaya fluida

Setelah dilakukannya validasi antara hasil simulasi CFD dengan eksperimen dalam sebuah *paper* maka penelitian terkait *bare cylinder* telah dianggap valid dan dapat dilanjutkan pada tahap selanjutnya, yakni penambahan *rods* sebagai *passive control device* yang bertujuan untuk meredam dari gaya fluida yang bekerja pada *bare cylinder*. Dengan konfigurasi *meshing* yang sama dengan konfigurasi yang dilakukan pada *meshing* saat *bare cylinder* maka dapat dikatakan distribusi aliran akan sama antara *bare cylinder* maupun dengan penambahan *rods*. Visualisasi *meshing* dengan penambahan *rods* dapat dilihat pada gambar 4.27 berikut:



Gambar 4.27 Visualisasi *meshing* penambahan *helical rods* dan domainnya

Penambahan *helical rods* ber-gap mempengaruhi gaya fluida yang terjadi pada *bare cylinder*, penggunaan variasi arah datang aliran terhadap *bare cylinder* maka akan didapat posisi yang efisien, berikut merupakan hasil dari penambahan *helical rods* ber-gap terhadap C_D :

Tabel 4.12 Hasil penambahan *helical rods* arah 0°

VARIASI RE	NILAI C_d		PRESENTASE(%) PENAMBAHAN (+) / PENGURANGAN (-)
	BARE	HELIX 0 DERAJAT	
1000	0.932	0.950	1.949
10000	1.048	1.014	-3.433
100000	1.064	0.951	-11.906

Pemasangan *helical rods* ber-gap pada arah datang 0° berpengaruh terhadap penurunan C_D pada $Re = 10^4$ dan 10^5 sebesar 3.433% dan 11.906 secara berurutan sedangkan pada $Re = 10^3$ mengalami kenaikan sebesar 1.949%. Pada konfigurasi yang lainnya yaitu pada arah datang aliran 15° , pengaruh penambahan *helical rods* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.13 Hasil penambahan *helical rods* arah 15°

VARIASI RE	NILAI C_d		PRESENTASE(%) PENAMBAHAN (+) / PENGURANGAN (-)
	BARE	HELIX 15 DERAJAT	
1000	0.932	0.966	3.563
10000	1.048	1.043	-0.490
100000	1.064	0.970	-9.701

Pemasangan *helical rods* ber-gap pada arah datang 15° berpengaruh terhadap penurunan C_D pada $Re = 10^4$ dan 10^5 sebesar 0.490% dan 9.701% secara berurutan sedangkan pada $Re = 10^3$ mengalami kenaikan sebesar 3.563%. Pada konfigurasi yang lainnya yaitu pada arah datang aliran 30° , pengaruh penambahan *helical rods* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.14 Hasil penambahan *helical rods* arah 30°

VARIASI RE	NILAI C_d		PRESENTASE(%) PENAMBAHAN (+) / PENGURANGAN (-)
	BARE	HELIX 30 DERAJAT	
1000	0.932	0.968	3.697
10000	1.048	1.046	-0.208
100000	1.064	0.974	-9.326

Pemasangan *helical rods* ber-gap pada arah datang 30° berpengaruh terhadap penurunan C_D pada $Re = 10^4$ dan 10^5 sebesar 0.208% dan 9.326 secara berurutan sedangkan pada $Re = 10^3$ mengalami kenaikan sebesar 3.697%. Pada konfigurasi yang lainnya yaitu pada arah datang aliran 45° , pengaruh penambahan *helical rods* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.15 Hasil penambahan *helical rods* arah 45°

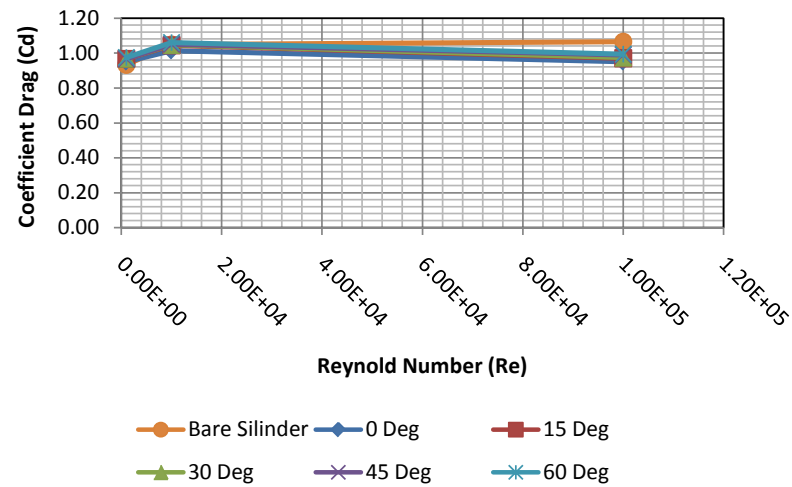
VARIASI RE	NILAI Cd		PRESENTASE(%) PENAMBAHAN (+) / PENGURANGAN (-)
	BARE	HELIX 45 DERAJAT	
1000	0.932	0.966	3.532
10000	1.048	1.050	0.132
100000	1.064	0.988	-7.710

Pemasangan *helical rods* ber-gap pada arah datang 45° berpengaruh terhadap penurunan C_D pada $Re = 10^5$ sebesar 7.710% sedangkan pada $Re = 10^3$ dan 10^4 mengalami kenaikan sebesar 3.532% dan 0.132% secara berurutan. Pada konfigurasi yang lainnya yaitu pada arah datang aliran 60° , pengaruh penambahan *helical rods* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.16 Hasil penambahan *helical rods* arah 60°

VARIASI RE	NILAI Cd		PRESENTASE(%) PENAMBAHAN (+) / PENGURANGAN (-)
	BARE	HELIX 60 DERAJAT	
1000	0.932	0.974	4.304
10000	1.048	1.059	1.020
100000	1.064	0.993	-7.162

Pemasangan *helical rods* ber-gap pada arah datang 60° berpengaruh terhadap penurunan C_D pada $Re = 10^5$ sebesar 7.162% sedangkan pada $Re = 10^3$ dan 10^4 mengalami kenaikan sebesar 4.304% dan 1.020% secara berurutan. C_D pada simulasi penambahan *rods* kali ini menggunakan fungsi skala yang sama dengan fungsi skala yang dilakukan pada simulasi terhadap *bare cylinder*. Hasil komparasi C_D dapat dilihat pada gambar 4.28



Gambar 4.28 Komparasi C_D variasi arah datang pada *helical rods*

setelah menganalisa efek dari penambahan *rods* terhadap C_D , maka akan dibahas pula bagaimana efek dari pemasangan *rods* terhadap C_L , dengan konfigurasi yang sama, pengaruh pemasangan *rods* terhadap C_L adalah sebagai berikut:

Tabel 4.17 Hasil penambahan *helical rods* arah 0°

VARIASI RE	NILAI CI		PRESENTASE(%) PENAMBAHAN (+) / PENGURANGAN (-)
	BARE	HELIX 0 DERAJAT	
1000	0.3376452	0.038484	-777.376
10000	0.4165310	0.172119	-142.002
100000	0.7578430	0.101708	-645.118

Pemasangan *helical rods* ber-gap pada arah datang 0° berpengaruh terhadap penurunan C_L pada $Re = 10^3$, 10^4 dan 10^5 sebesar 777.376%, 142.002% dan 645.118% secara berurutan. Pada konfigurasi yang lainnya yaitu pada arah datang aliran 15° , pengaruh penambahan *helical rods* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.18 Hasil penambahan *helical rods* arah 15°

VARIASI RE	NILAI CI		PRESENTASE(%) PENAMBAHAN (+) / PENGURANGAN (-)
	BARE	HELIX 15 DERAJAT	
1000	0.3376452	1.466143	76.971
10000	0.4165310	0.136506	-205.137
100000	0.7578430	0.023162	-3171.914

Pemasangan *helical rods* ber-gap pada arah datang 15° berpengaruh terhadap penurunan C_L pada $Re = 10^4$ dan 10^5 sebesar 205.137% dan 3171.914% secara berurutan sedangkan pada $Re = 10^3$ mengalami kenaikan sebesar 76.971%. Pada konfigurasi yang lainnya yaitu pada arah datang aliran 30° , pengaruh penambahan *helical rods* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.19 Hasil penambahan *helical rods* arah 30°

VARIASI RE	NILAI CI		PRESENTASE(%) PENAMBAHAN (+) / PENGURANGAN (-)
	BARE	HELIX 30 DERAJAT	
1000	0.3376452	1.003182	66.343
10000	0.4165310	0.388467	-7.224
100000	0.7578430	0.705270	-7.454

Pemasangan *helical rods* bergap pada arah datang 30° berpengaruh terhadap penurunan C_L pada $Re = 10^4$ dan 10^5 sebesar 7.224% dan 7.454% secara berurutan sedangkan pada $Re = 10^3$ mengalami kenaikan sebesar 66.643%. Pada konfigurasi yang lainnya yaitu pada arah datang aliran 45° , pengaruh penambahan *helical rods* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.20 Hasil penambahan *helical rods* arah 45°

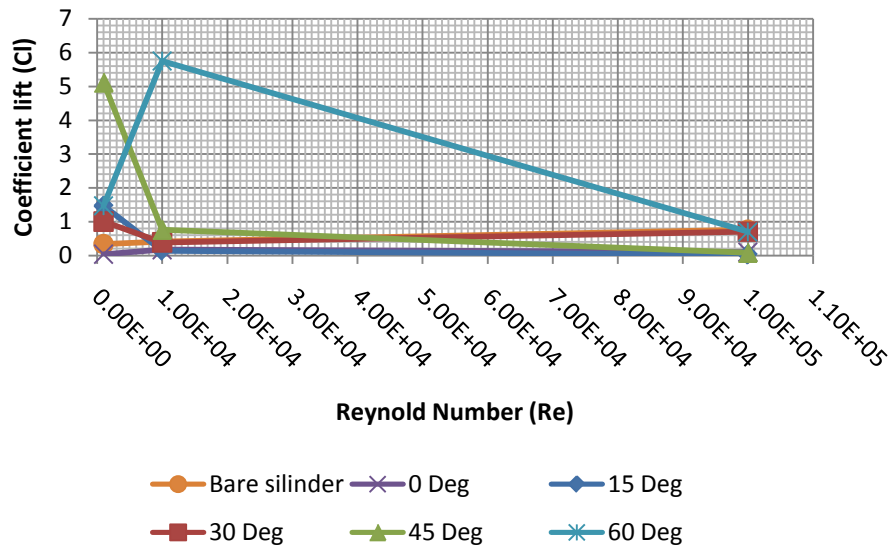
VARIASI RE	NILAI CI		PRESENTASE(%) PENAMBAHAN (+) / PENGURANGAN (-)
	BARE	HELIX 45 DERAJAT	
1000	0.3376452	5.116695	93.401
10000	0.4165310	0.762741	45.390
100000	0.7578430	0.081876	-825.603

Pemasangan *helical rods* bergap pada arah datang 45° berpengaruh terhadap penurunan C_L pada $Re = 10^5$ sebesar 825.603% sedangkan pada $Re = 10^3$ dan 10^4 mengalami kenaikan sebesar 93.401% dan 45.39%. Pada konfigurasi yang lainnya yaitu pada arah datang aliran 60° , pengaruh penambahan *helical rods* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.21 Hasil penambahan *helical rods* arah 60°

VARIASI RE	NILAI CI		PRESENTASE(%) PENAMBAHAN (+) / PENGURANGAN (-)
	BARE	HELIX 60 DERAJAT	
1000	0.3376452	1.471034	77.047
10000	0.4165310	5.751192	92.757
100000	0.7578430	0.701121	-8.090

Pemasangan *helical rods* bergap pada arah datang 60° berpengaruh terhadap penurunan C_L pada $Re = 10^5$ sebesar 8.09% sedangkan pada $Re = 10^3$ dan 10^4 mengalami kenaikan sebesar 77.047% dan 92.757%. Hasil komparasi C_L dapat dilihat pada gambar 4.29



Gambar 4.29 Komparasi nilai C_L variasi arah datang pada *helical rods*

Pengaruh yang terjadi terhadap pemasangan *helical rods* bergap telah dapat dilihat dalam tabel 4.12-4.21 yang setiap konfigurasi memiliki pengaruh yang berbeda-beda.

4.3.2 Pengaruh *gap* *helical rods* terhadap gaya fluida

Pengaruh *gap* dari pemasangan *rods* bisa jadi menjadi salah satu hal yang dapat memaksimalkan reduksi dari gaya fluida yang terjadi, oleh karena itu dirasa perlu untuk menganalisa variasi *gap* pada *helical rods*, analisa tersebut akan dilakukan dalam beberapa variasi *gap* dengan hasil seperti pada tabel 4.22. Proses simulasi variasi *gap* memungkinkan untuk diterapkan pada analisa lebih lanjut terkait pemasangan *helical rods*

Tabel 4.22 Variasi *gap* pemasangan *helical rods* arah 0° terhadap C_D

MESHING Max Face Size	RE	Kecepatan (m/s)	RESULTS			
			GAP (m)	Force (N)	Cd	Selisih nilai Cd
0.2	1000	0.002883477	0.01	0.00704361	1.037	11.256
0.2	1000	0.002883477	0.03	0.00617588	0.909	-2.450
0.2	1000	0.002883477	0.04	0.00597992	0.880	-5.545
0.2	1000	0.002883477	0.05	0.00587996	0.865	-7.124
0.2	1000	0.002883477	0.06	0.00582202	0.857	-8.039
0.2	1000	0.002883477	0.1	0.00574022	0.845	-9.332
0.2	1000	0.002883477	0.125	0.00575068	0.846	-9.166
0.2	1000	0.002883477	0.15	0.00581276	0.856	-8.186

Dalam simulasi pengaruh pemasangan *gap* terhadap gaya fluida yang terlihat pada tabel diatas menunjukkan bahwa pada 0.1 m menjadi pengaruh terbesar dalam pengurang C_D . Penurunan C_D hingga 10.292% dari *bare cylinder*.

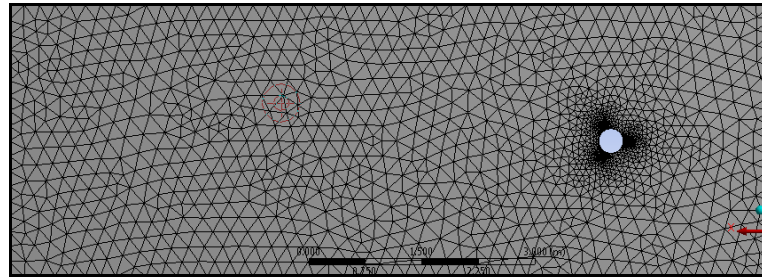
Tabel 4.23 Variasi *gap* pemasangan *helical rods* arah 0° terhadap nilai C_L

MESHING Max Face Size	RE	Kecepatan	Results			
			GAP (m)	Force (N)	Cl	Selisih nilai Cl
0.2	1000	0.002883477	0.01	2.33E-06	0.134206	-60.294
0.2	1000	0.002883477	0.03	2.65E-05	1.525603	351.362
0.2	1000	0.002883477	0.04	3.24E-05	1.865844	452.025
0.2	1000	0.002883477	0.05	1.14E-05	0.654842	93.740
0.2	1000	0.002883477	0.06	4.56E-06	0.262819	-22.243
0.2	1000	0.002883477	0.1	3.92E-05	2.259196	568.401
0.2	1000	0.002883477	0.125	1.83E-05	1.053960	211.823
0.2	1000	0.002883477	0.15	1.59E-05	0.914897	170.680

Dalam simulasi pengaruh pemasangan *gap* terhadap gaya fluida yang terlihat pada tabel diatas menunjukkan bahwa pada 0.01 m menjadi pengaruh terbesar dalam pengurang nilai C_L . Penurunan nilai C_L hingga 60.294% dari *bare cylinder*.

4.3.3 Pengaruh *multiple helical rods* terhadap gaya fluida

Simulasi berikutnya adalah penambahan *rods* dengan menggunakan *multiple helical rods* ber *gap*, bila pada simulasi sebelumnya *rods* yang terpasang hanya berjumlah 3 rod, maka dalam simulasi kali ini terdapat 6 rod yang terpasang secara tandem. konfigurasi *multiple helical rods* merupakan pengembangan dari model *helical rods* yang hanya berjumlah 3 buah, diharapkan dengan penambahan *rods* ini dapat meredam gaya fluida yang lebih baik dari simulasi sebelumnya. Dengan menggunakan *gap* yang sama antara kedua *rods*, yakni 0.02m, dan juga konfigurasi *meshing* yang sama dengan simulasi-simulasi sebelumnya, maka didapatkan visualisasi *meshing* seperti pada gambar 4.30 berikut:



Gambar 4.30 Visualisasi *meshing* penambahan *multiple helical rods* dan domainnya

Penambahan *multiple helical rods* bergap mempengaruhi gaya fluida yang terjadi pada *bare cylinder*, penggunaan variasi arah datang aliran terhadap *bare cylinder* maka akan didapat posisi yang efisien, berikut merupakan hasil dari penambahan *helical rods* ber-gap terhadap C_D

Tabel 4.24 Hasil penambahan *multiple helical rods* arah 0°

VARIASI RE	NILAI C_d		PRESENTASE(%) PENAMBAHAN (+) / PENGURANGAN (-)
	BARE	MULTIPLE HELIX 0 DERAJAT	
1000	0.932	0.952	2.161
10000	1.048	1.003	-4.560
100000	1.064	1.005	-5.853

Pemasangan *multiple helical rods* bergap pada arah datang 0° berpengaruh terhadap penurunan C_D pada $Re = 10^4$ dan 10^5 sebesar 4.56% dan 5.853 secara berurutan sedangkan pada $Re = 10^3$ mengalami kenaikan sebesar 2.161%. Pada konfigurasi yang lainnya yaitu pada arah datang aliran 15° , pengaruh penambahan *helical rods* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.25 Hasil penambahan *multiple helical rods* arah 15°

VARIASI RE	NILAI C_d		PRESENTASE(%) PENAMBAHAN (+) / PENGURANGAN (-)
	BARE	MULTIPLE HELIX 15 DERAJAT	
1000	0.932	0.965	3.444
10000	1.048	1.034	-1.423
100000	1.064	1.016	-4.775

Pemasangan *multiple helical rods* bergap pada arah datang 15° berpengaruh terhadap penurunan C_D pada $Re = 10^4$ dan 10^5 sebesar 1.423% dan 4.755% secara

berurutan sedangkan pada $Re = 10^3$ mengalami kenaikan sebesar 3.444%. Pada konfigurasi yang lainnya yaitu pada arah datang aliran 30° , pengaruh penambahan *helical rods* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.26 Hasil penambahan *multiple helical rods* arah 30°

VARIASI RE	NILAI Cd		PRESENTASE(%) PENAMBAHAN (+) / PENGURANGAN (-)
	BARE	MULTIPLE HELIX 30 DERAJAT	
1000	0.932	0.967	3.640
10000	1.048	1.037	-1.072
100000	1.064	1.037	-2.589

Pemasangan *multiple helical rods* bergap pada arah datang 30° berpengaruh terhadap penurunan C_D pada $Re = 10^4$ dan 10^5 sebesar 1.072% dan 2.589% secara berurutan sedangkan pada $Re = 10^3$ mengalami kenaikan sebesar 3.64%. Pada konfigurasi yang lainnya yaitu pada arah datang aliran 45° , pengaruh penambahan *helical rods* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.27 Hasil penambahan *multiple helical rods* arah 45°

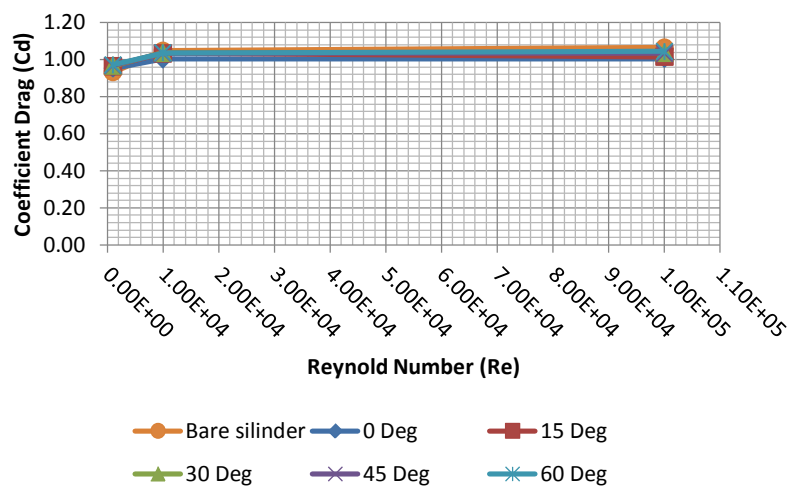
VARIASI RE	NILAI Cd		PRESENTASE(%) PENAMBAHAN (+) / PENGURANGAN (-)
	BARE	MULTIPLE HELIX 45 DERAJAT	
1000	0.932	0.968	3.743
10000	1.048	1.033	-1.461
100000	1.064	1.035	-2.840

Pemasangan *multiple helical rods* bergap pada arah datang 45° berpengaruh terhadap penurunan C_D pada $Re = 10^4$ dan 10^5 sebesar 1.461% dan 2.84% secara berurutan sedangkan pada $Re = 10^3$ mengalami kenaikan sebesar 3.743%. Pada konfigurasi yang lainnya yaitu pada arah datang aliran 60° , pengaruh penambahan *helical rods* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.28 Hasil penambahan *multiple helical rods* arah 60°

VARIASI RE	NILAI Cd		PRESENTASE(%) PENAMBAHAN (+) / PENGURANGAN (-)
	BARE	MULTIPLE HELIX 60 DERAJAT	
1000	0.932	0.973	4.210
10000	1.048	1.036	-1.226
100000	1.064	1.044	-1.932

Pemasangan *multiple helical rods* bergap pada arah datang 45° berpengaruh terhadap penurunan C_D pada $Re = 10^4$ dan 10^5 sebesar 1.226% dan 1.932% secara berurutan sedangkan pada $Re = 10^3$ mengalami kenaikan sebesar 4.21%. C_D pada simulasi penambahan *rods* kali ini menggunakan fungsi skala yang sama dengan fungsi skala yang dilakukan pada simulasi terhadap *bare cylinder*. Hasil komparasi C_D dapat dilihat pada gambar 4.31



Gambar 4.31 Komparasi C_D variasi arah datang pada *multiple helical rods*

Setelah menganalisa efek dari penambahan *rods* terhadap C_D , maka akan dibahas pula bagaimana efek dari pemasangan *rods* terhadap C_L , dengan konfigurasi yang sama, pengaruh pemasangan *rods* terhadap C_L adalah sebagai berikut

Tabel 4.29 Hasil penambahan *multiple helical rods* arah 0°

VARIASI RE	NILAI CI		PRESENTASE(%) PENAMBAHAN (+) / PENGURANGAN (-)
	BARE	MULTIPLE HELIX 0 DERAJAT	
1000	0.3376452	2.193429	84.607
10000	0.4165310	1.646033	74.695
100000	0.7578430	0.238166	-218.200

Pemasangan *helical rods* bergap pada arah datang 0° berpengaruh terhadap penurunan C_L pada $Re = 10^5$ sebesar 218.2% sedangkan pada $Re = 10^3$ dan 10^4 mengalami kenaikan sebesar 84.607% dan 74.695%. Pada konfigurasi yang lainnya yaitu pada arah datang aliran 15°, pengaruh penambahan *helical rods* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.30 Hasil penambahan *multiple helical rods* arah 15°

VARIASI RE	NILAI CI		PRESENTASE(%) PENAMBAHAN (+) / PENGURANGAN (-)
	BARE	MULTIPLE HELIX 15 DERAJAT	
1000	0.3376452	0.341521	1.135
10000	0.4165310	1.965177	78.804
100000	0.7578430	0.347097	-118.338

Pemasangan *helical rods* bergap pada arah datang 15° berpengaruh terhadap penurunan C_L pada $Re = 10^5$ sebesar 118.338% sedangkan pada $Re = 10^3$ dan 10^4 mengalami kenaikan sebesar 1.135% dan 78.804%. Pada konfigurasi yang lainnya yaitu pada arah datang aliran 15°, pengaruh penambahan *helical rods* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.31 Hasil penambahan *multiple helical rods* arah 30°

VARIASI RE	NILAI CI		PRESENTASE(%) PENAMBAHAN (+) / PENGURANGAN (-)
	BARE	MULTIPLE HELIX 30 DERAJAT	
1000	0.3376452	2.098923	83.913
10000	0.4165310	1.924885	78.361
100000	0.7578430	1.142029	33.641

Pemasangan *multiple helical rods* bergap pada arah datang 30° berpengaruh terhadap kenaikan C_L pada $Re = 10^3$, 10^4 dan 10^5 mengalami kenaikan sebesar

83.913%, 78.361% dan 33.641. Pada konfigurasi yang lainnya yaitu pada arah datang aliran 45° , pengaruh penambahan *helical rods* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.32 Hasil penambahan *multiple helical rods* arah 45°

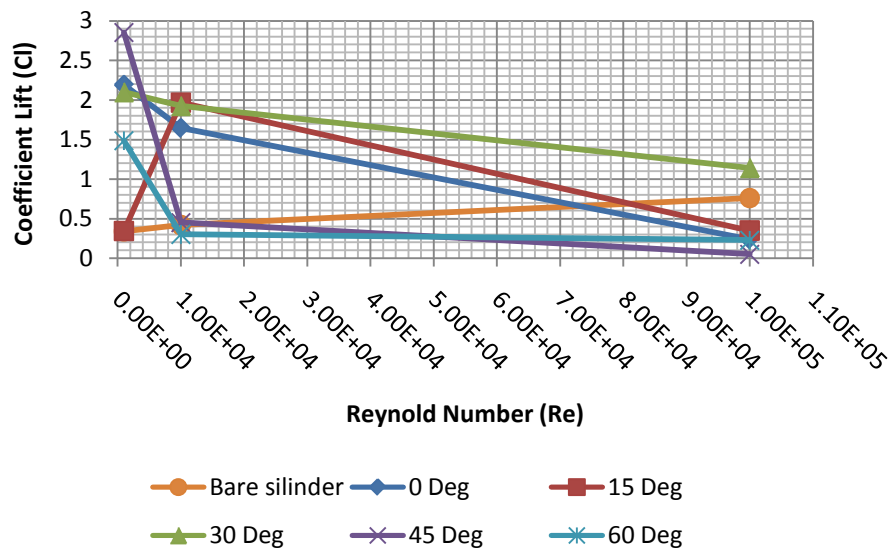
VARIASI RE	NILAI CI		PRESENTASE(%) PENAMBAHAN (+) / PENGURANGAN (-)
	BARE	MULTIPLE HELIX 45 DERAJAT	
1000	0.3376452	2.851825	88.160
10000	0.4165310	0.449012	7.234
100000	0.7578430	0.049786	-1422.207

Pemasangan *multiple helical rods* bergap pada arah datang 45° berpengaruh terhadap penurunan C_L pada $Re = 10^5$ sebesar 1422.207% sedangkan pada $Re = 10^3$ dan 10^4 mengalami kenaikan sebesar 88.16 dan 7.234%. Pada konfigurasi yang lainnya yaitu pada arah datang aliran 60° , pengaruh penambahan *helical rods* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.33 Hasil penambahan *multiple helical rods* arah 60°

VARIASI RE	NILAI CI		PRESENTASE(%) PENAMBAHAN (+) / PENGURANGAN (-)
	BARE	MULTIPLE HELIX 60 DERAJAT	
1000	0.3376452	1.484248	77.251
10000	0.4165310	0.302052	-37.900
100000	0.7578430	0.227479	-233.148

Pemasangan *multiple helical rods* bergap pada arah datang 30° berpengaruh terhadap penurunan C_D pada $Re = 10^4$ dan 10^5 sebesar 37.9% dan 233.148% secara berurutan sedangkan pada $Re = 10^3$ mengalami kenaikan sebesar 77.251%. Hasil komparasi C_L dapat dilihat pada gambar 4.32



Gambar 4.32 Komparasi C_L variasi arah datang pada *multiple helical rods*

Pengaruh yang terjadi terhadap pemasangan *multiple helical rods* bergap telah dapat dilihat dalam tabel 4.24-4.33 yang setiap konfigurasi memiliki pengaruh yang berbeda-beda.

4.3.4 Pengaruh *gap multiple helical rods* terhadap gaya fluida

Telah dibahas sebelumnya mengenai pengaruh variasi *gap* pada *helical rods*, dalam proses simulasi didapatkan hasil dengan pemasangan *gap* sebesar 0.1m memiliki dampak yang paling signifikan dalam mereduksi gaya fluida. berdasarkan hasil tersebut, pemasangan *multiple helical rods* ber-*gap* perlu dianalisa bagaimana pengaruh *gap* tersebut terkait pengurangan gaya fluida, variasi dilakukan dengan *gap* 0.04m, 0.06m, 0.1m dan 0.12m. untuk hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.33 berikut

Tabel 4.34 Variasi *gap* pemasangan *multiple helical rods* arah 0° terhadap C_D

MESHING	RE	Kecepatan (m/s)	RESULTS			
			GAP (m)	Force (N)	Cd	Selisih nilai Cd
0.2	1000	0.002883477	0.04	0.00569962	0.839	-11.078
0.2	1000	0.002883477	0.06	0.00563389	0.829	-12.374
0.2	1000	0.002883477	0.1	0.00559288	0.823	-13.197
0.2	1000	0.002883477	0.12	0.00562254	0.828	-12.600

Dalam simulasi pengaruh pemasangan *gap* terhadap gaya fluida yang terlihat pada tabel diatas menunjukkan bahwa pada 0.1 m menjadi pengaruh terbesar dalam pengurang C_D . Penurunan C_D hingga 13.197% dari *bare cylinder*.

Tabel 4.35 Variasi *gap* pemasangan *multiple helical rods* arah 0° terhadap C_L

MESHING	RE	Kecepatan	Results			
Max Face Size			GAP (m)	Force (N)	Cl	Selisih nilai Cl
0.2	1000	0.002883477	0.04	4.31E-05	2.483	84.371
0.2	1000	0.002883477	0.06	5.81E-05	3.347	88.408
0.2	1000	0.002883477	0.1	5.18E-06	0.299	-29.906
0.2	1000	0.002883477	0.12	2.05E-05	1.180	67.109

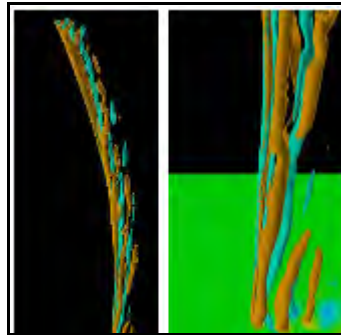
Dalam simulasi pengaruh pemasangan *gap* terhadap gaya fluida yang terlihat pada tabel diatas menunjukkan bahwa pada 0.1 m menjadi pengaruh terbesar dalam pengurang nilai C_L . Penurunan C_D hingga 29.906% dari *bare cylinder*.

4.4 Efek penambahan *rods* terhadap pola aliran

Aliran fluida yang melewati sebuah objek menimbulkan pola aliran yang berbeda-beda anatar objek satu dengan yang lain, begitu juga dengan perbedaan kecepatan aliran yang mengalir disekitar objek tersebut. Perbedaan kecepatan aliran yang melewati sebuah objek mengakibatkan perbedaan pola aliran yang terbentuk setelah melewati objek tersebut. Dalam penelitian yang dilakukan menggunakan *bare cylinder* sebagai objek dengan variasi *Reynolds number* maka akan terjadi pola aliran yang berbeda-beda disetiap variasinya.

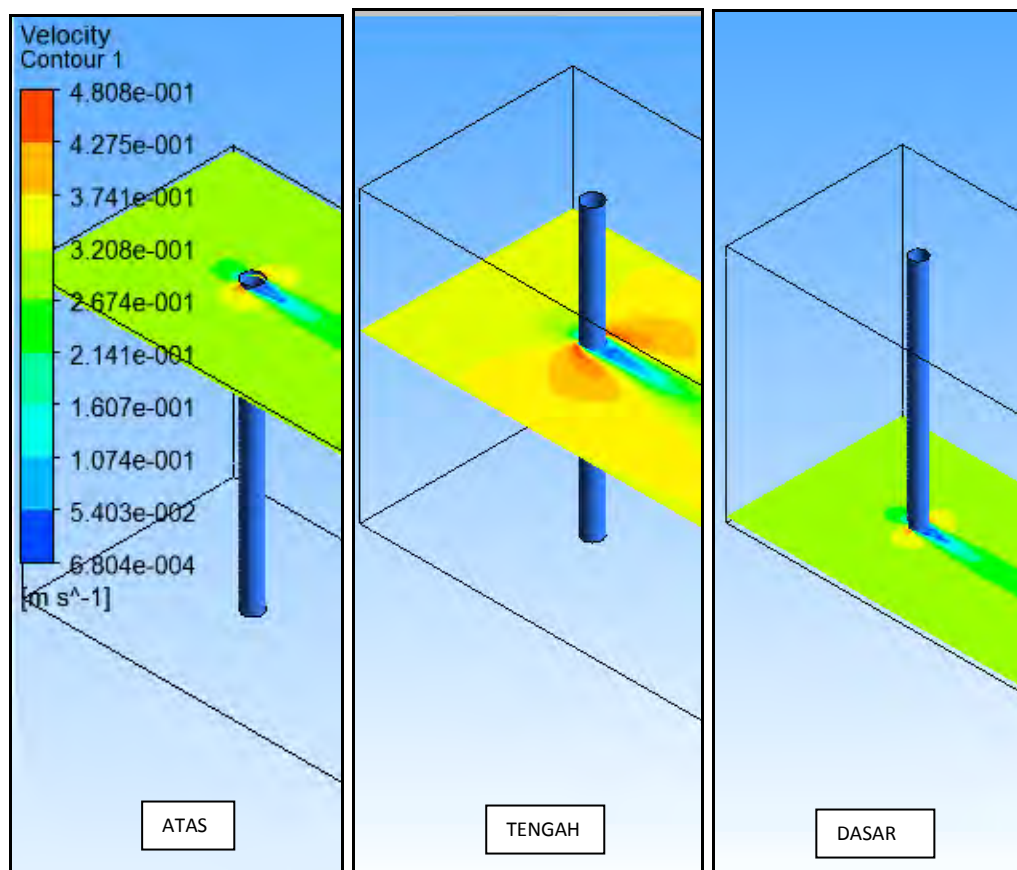
4.4.1 Pola aliran disekitar *bare cylinder*

Analisa pertama terhadap pola aliran adalah pada *bare cylinder*, untuk membandingkan pola aliran yang terjadi antara pemakaian *helical rods* maupun hanya *bare cylinder*. Pola aliran yang terjadi dalam satu elevasi panjang silinder adalah berbeda-beda, pola aliran yang berada pada daerah atas, tengah maupun dasar memiliki pola yang berbeda seperti yang terlihat pada gambar 4.33 berikut ini



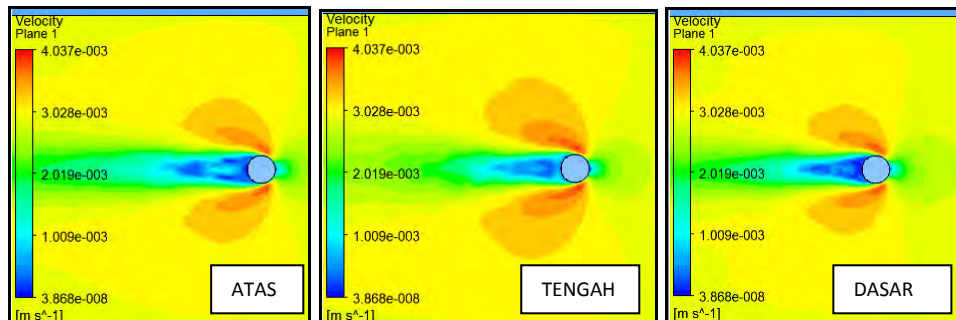
Gambar 4.33 Pola aliran pada *long vertical riser*

Gambar 4.33 merupakan pola aliran hasil dari salah satu simulasi yang dilakukan oleh Contatinides, dalam penelitian yang memakai panjang *riser* $\pm 30\text{m}$ memerlukan super computer dalam mensimulasikan model 3d.

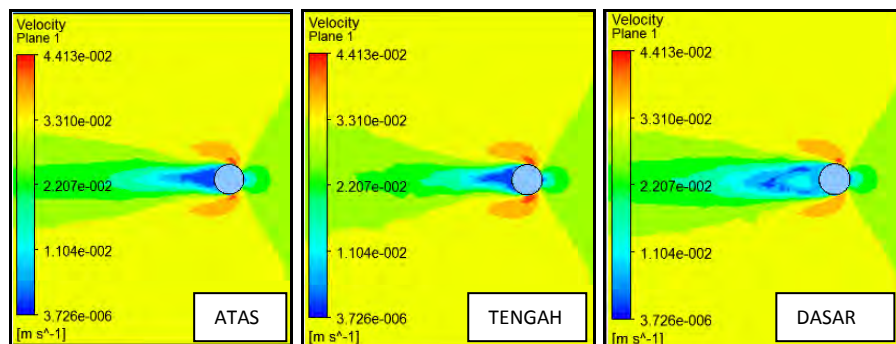


Gambar 4.34 pola aliran pada *bare cylinder*

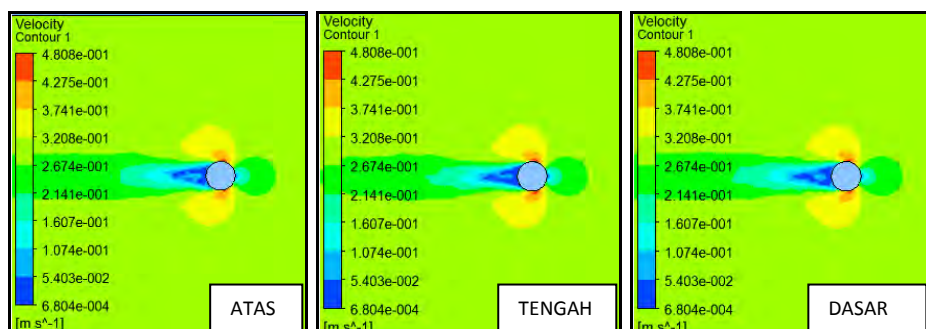
pola aliran yang diambil adalah pola aliran yang berada di atas, tengah dan dasar elevasi panjang silinder, seperti yang terdapat pada gambar 4.34. Berikut adalah pola aliran pada *bare cylinder* dengan variasi $Re = 10^3, 10^4, 10^5$



Gambar 4.35 Pola aliran *bare cylinder* $Re = 10^3$



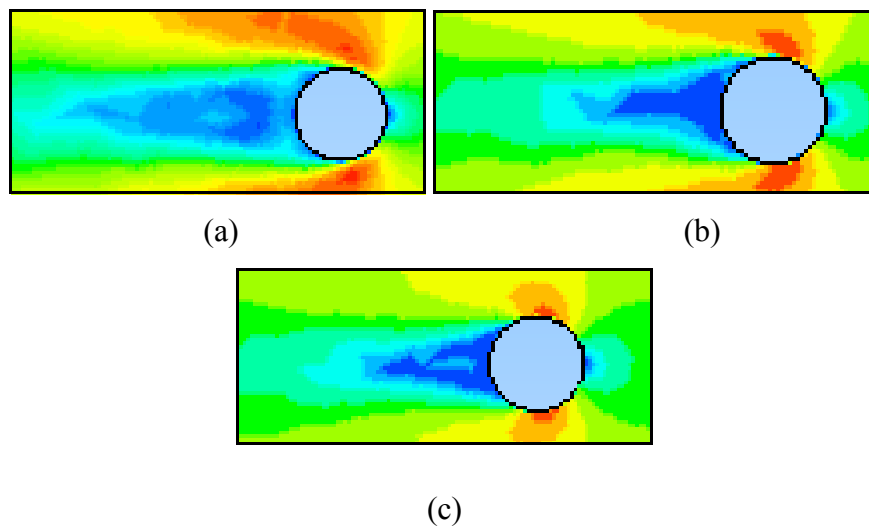
Gambar 4.36 Pola aliran *bare cylinder* $Re = 10^4$



Gambar 4.37 Pola aliran *bare cylinder* $Re = 10^5$

Pada **Gambar 4.35, 4.36 dan 4.37** ditunjukkan pola aliran yang terjadi pada *bare cylinder* dan untuk perbedaan warna pada aliran menunjukan perbedaan kecepatan.

Visualisasi pola aliran ini menunjukkan adanya *vortex* yang terjadi dibelakang silinder. Jika dalam kondisi realnya fluida yang melawati suatu silinder dan terjadi aliran *vortex* maka fluida tersebut akan kembali kearah sumbu yang berlawanan. seperti yang telah diulas pada gambar 4.34, bahwa pola aliran yang terjadi disekitar silinder akan berbeda baik dielevasi atas, tengah maupun dasar. Dalam simulasi pada *bare cylinder*, perbedaan aliran tidak seberapa signifikan dikarenakan bentuk dari objek yang sama, baik elevasi atas, tengah maupun bawah, perbedaan ini akan sangat tampak apabila sudah ditambah dengan *helical rods* sebagai *passive device control*. Jika dilihat lebih detail maka akan terlihat perbedaan aliran pada masing-masing Re. seperti yang terlihat pada gambar 4.36 berikut ini



Gambar 4.38 Pola aliran disekitar silinder (a) $Re = 10^3$ (b) $Re = 10^4$ (c) $Re = 10^5$

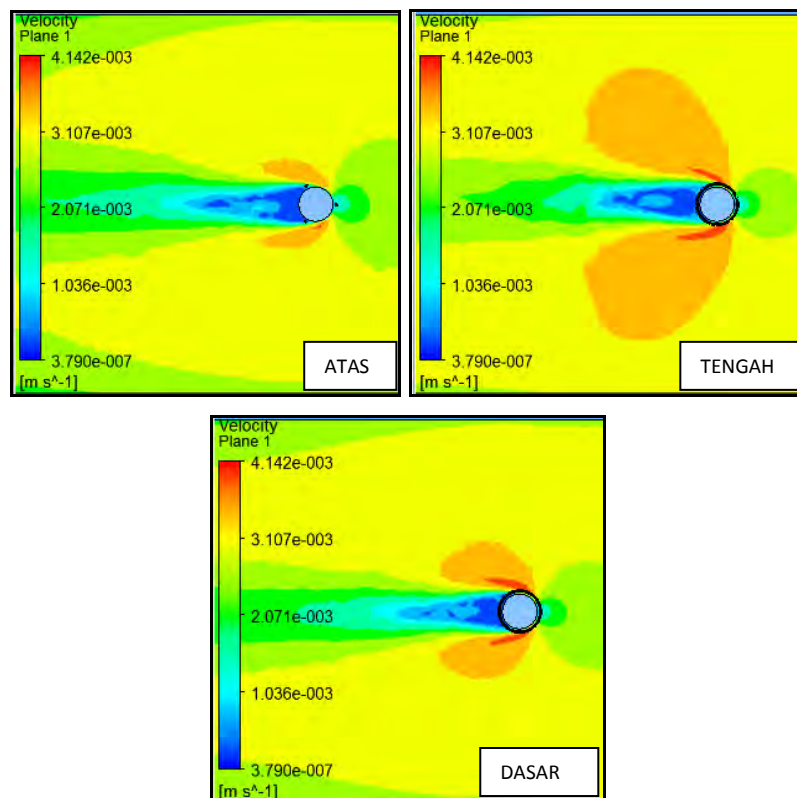
terlihat dalam gambar 4.38 perubahan pola aliran pada $Re = 10^3$ hingga $Re = 10^5$, pada gambar (a) terlihat pola aliran yang masih simetris antara sisi atas maupun bawah, pada gambar (b) terlihat adanya proses pelepasan *vortex* yang masih belum sempurna yang dapat ditangkap oleh simulasi menggunakan CFD dan pada gambar (c) terlihat sangat jelas adanya pelepasan *vortex* yang mana *vortex* pada bagian atas memotong *vortex* bagian bawah dan proses ini akan berlangsung terus menerus secara bergantian.

4.4.2 Pola aliran disekitar *helical rods*

Pada bagian ini akan diperlihatkan pola aliran pengaruh pemasangan *helical rods* baik *helical rods* maupun *multiple helical rods* ber-gap. jika sebelumnya telah dijelaskan pola aliran di sekitar *bare cylinder*. Tujuan utama dari pemasangan *helical rods* ini untuk merusak *vortex shedding* yang terbentuk dibelakang silinder dan dapat mengurangi *fatigue life* dalam kondisi nyatanya.

4.4.2.1 Pola aliran disekitar *helical rods*

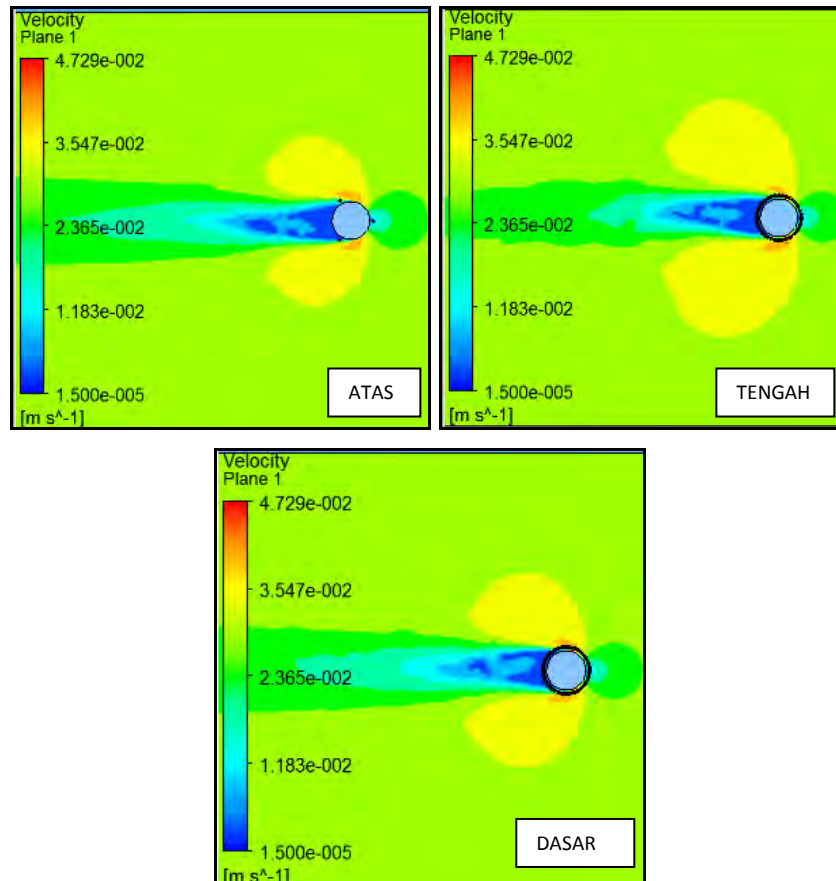
Pada bagian ini akan diperlihatkan pola aliran dengan pemasangan *helical rods* seperti yang terlihat pada gambar 4.39 dibawah ini



Gambar 4.39 Pola aliran pengaruh *helical rods* $Re = 10^3$

Pola aliran yang dihasilkan setelah menambahkan *helical rods* bergap mengalami perubahan yang signifikan, pola aliran yang sebelumnya simetris antara sisi atas dan bawah, kali ini adanya ketidak aturan antara sisi bagian atas maupun bawah. Hal ini menandakan bahwa aliran yang simetris saat belum adanya *helical rods*

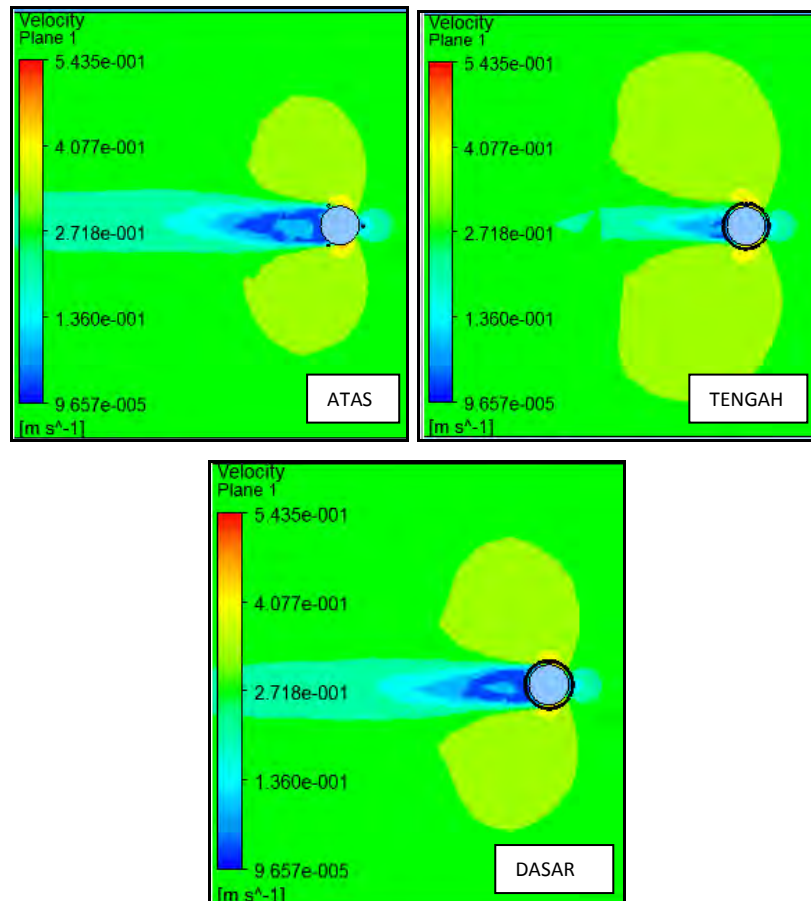
terusak oleh penambahan *helical rods* bergap pada *bare cylinder*. Pola selanjutnya adalah pada $Re = 10^4$ peningkatan Re akan menyebabkan kecepatan aliran fluida akan ikut bertambah, pola aliran yang dihasilkan akan berbeda antara $Re = 10^3$. Berikut adalah pola aliran pada $Re = 10^4$ yang terdapat dalam gambar 4.40



Gambar 4.40 Pola aliran pengaruh *helical rods* $Re = 10^4$

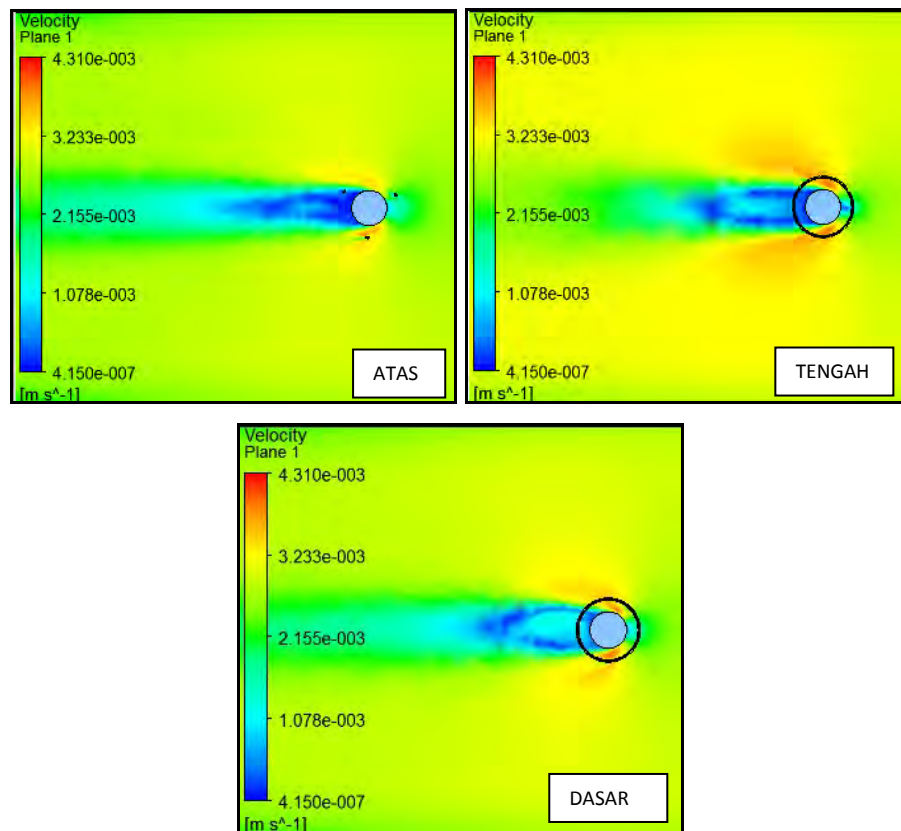
Pola aliran yang dihasilkan setelah menambahkan *helical rods* bergap mengalami perubahan yang signifikan, pola aliran dengan penambahan *rods* mampu dirusak dan menghasilkan pola yang berbeda dengan pola sebelum terpasang *rods*. pola yang terjadi memiliki kerusakan yang cukup baik bila dibandingkan dengan Re sebelumnya, dengan bertambahnya kecepatan maka tumbukan antara fluida dengan objek akan bertambah, bertambahnya pula gaya yang diterima oleh objek. Pola selanjutnya adalah pada $Re = 10^5$ peningkatan *Reynolds number* akan menyebabkan kecepatan aliran fluida akan ikut bertambah, pola aliran yang

dihasilkan akan berbeda antara $Re = 10^3$ dan 10^4 . Berikut adalah pola aliran pada $Re = 10^5$ yang terdapat dalam gambar 4.41



Gambar 4.41 Pola aliran pengaruh *helical rods* $Re = 10^5$

Pola aliran yang dihasilkan pada $Re = 10^5$ mengalami penurunan dalam hal visualisasi, seperti pada pola aliran yang berada pada elevasi tengah silinder, pola yang terbentuk memudar, hal ini menandakan *vortex* yang cenderung rusak dan telah terbagi ke beberapa bagian kecil sehingga susah tervisualisasi. pola aliran yang diambil merupakan konfigurasi *gap* yang telah ditentukan diawal, yakni 0.02m. Variasi *gap* dilakukan untuk menemukan konfigurasi yang dapat mereduksi gaya fluida secara signifikan, konfigurasi dari *gap* tersebut adalah 0.06m. Dalam gambar selanjutnya ini akan menunjukkan pola aliran yang terbentuk dengan *gap* 0.06m.



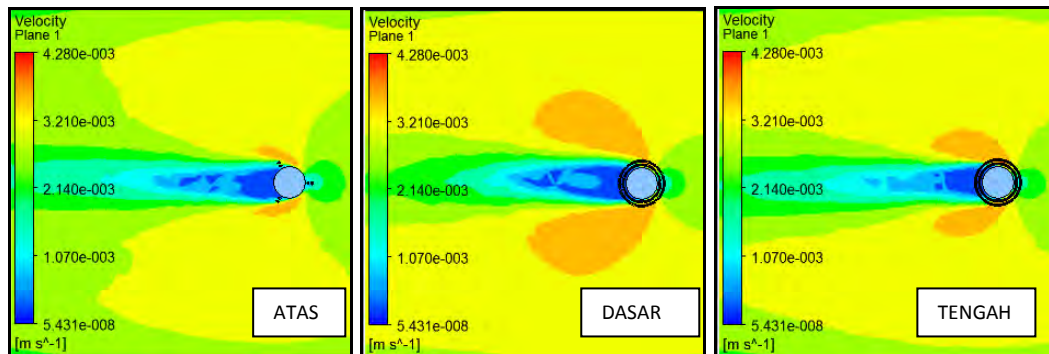
Gambar 4.42 Pola aliran pengaruh *helical rods* $Re = 10^3$ gap 0.06m

Pola aliran yang dihasilkan oleh konfigurasi *gap* antara *helical rods* dengan *bare cylinder* sebesar 0.06m memiliki visualisasi yang lebih baik, dalam arti pola aliran rusak dan tereduksi bila dibandingkan dengan konfigurasi *gap* 0.02m.

4.4.2.2 Pola aliran disekitar *multiple helical rods*

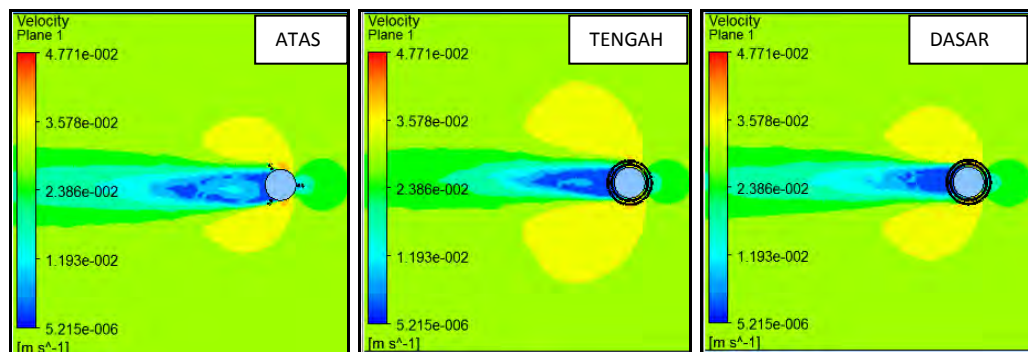
Setelah mengetahui pola aliran yang terjadi pada *bare cylinder* dan juga triple *helical rods* bergap, maka pada bagian ini akan diperlihatkan pola aliran pengaruh pemasangan *multiple helical rods*. berikut adalah pola aliran menggunakan *multiple helical rods* sebagai *passive control device*.

Dengan menggunakan variasi yang sama dengan variasi *gap* serta besarnya nilai *Reynolds number* yang dilakukan pada konfigurasi triple *helical rods* bergap, maka akan dilihat perbedaan pola aliran antara triple *helical rods* bergap dengan *multiple helical rods* bergap.



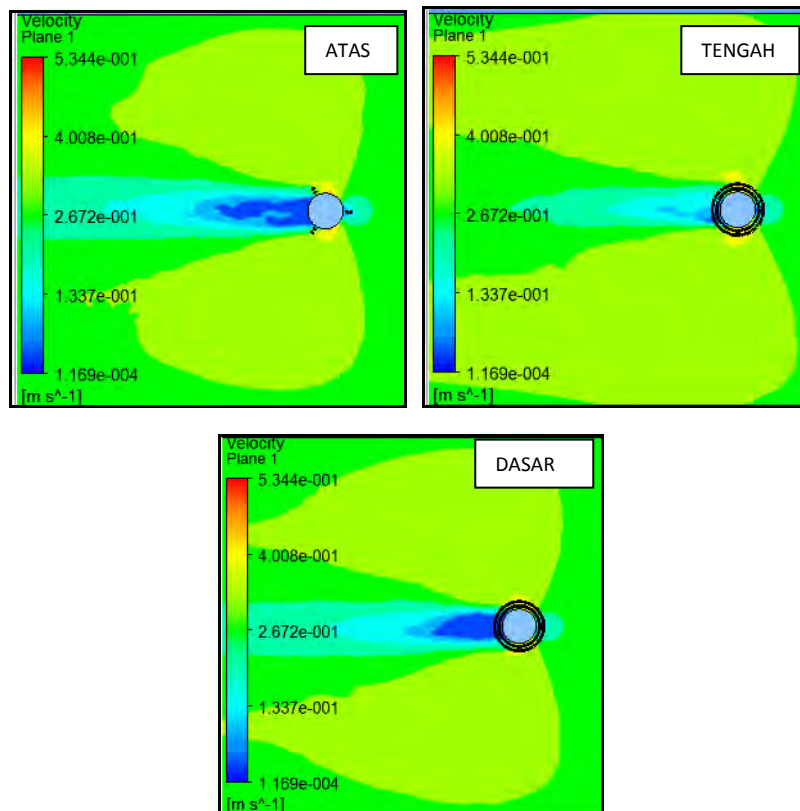
Gambar 4.43 Pola aliran pengaruh *multiple helical rods* $Re = 10^3$

Pola aliran yang dihasilkan dengan pemasangan *multiple helical rods* bergap pada $Re = 10^3$ tidak jauh berbeda dengan penambahan *triple helical rods* bergap, pemasangan *multiple* mampu merusak *vortex shedding* yang terbentuk sebelum pemasangan *multiple helical rods* bergap, *vortex* yang terbentuk terbagi menjadi beberapa bagian namun belum cukup efisien dalam pengurangan *vortex shedding* itu sendiri.



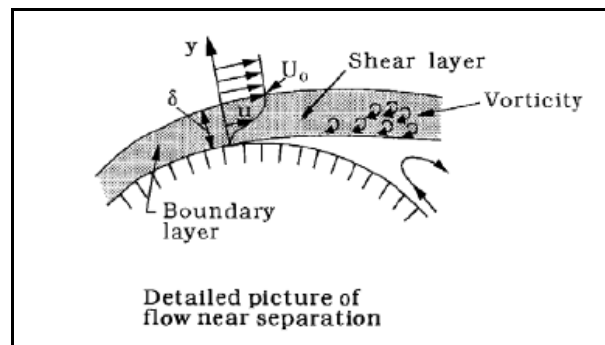
Gambar 4.44 Pola aliran pengaruh *multiple helical rods* $Re = 10^4$

Sama halnya dengan pembahasan pola aliran *vortex shedding* yang terjadi pada $Re = 10^3$, pada $Re = 10^4$, pengaruh *multiple helical rods* terhadap pola aliran sangat terasa, hal ini dapat dilihat pada gambar 4.44 yang menggambarkan *vortex shedding* dapat dirusak oleh *passive control device*, pada pola aliran bagian atas dapat tereduksi pola *vortex shedding* bila dibandingkan dengan pola aliran bagian atas pada pemasangan *triple helical rods*.



Gambar 4.45 Pola aliran pengaruh *multiple helical rods* $Re = 10^5$

semakin cepatnya aliran fluida yang mengenai sebuah struktur maka akan semakin besar pengaruh pemasangan *helical rods* pada *bare cylinder* untuk mereduksi pola aliran, menghasilkan kesimpulan dengan bertambahnya kecepatan yang mengenai objek akan menimbulkan kerusakan yang semakin besar dan mampu mengurai *vortex shedding* ke beberapa bagian kecil dari *vortex shedding*. Hal ini tentunya menjadi hal yang menarik dalam pengembangan penelitian ini dalam kasus VIV, bahwa getaran yang dihasilkan pada silinder merupakan pengaruh dari terbentuknya *vortex shedding* dibelakang silinder. Pada dasarnya aliran fluida yang melewati sebuah silinder akan mengakibatkan terbentuknya sebuah lapisan batas yang akan memisah dengan adanya gradien tekanan balik dari aliran sekitar belakang silinder seperti yang dapat dilihat dalam gambar 4.46 berikut ini

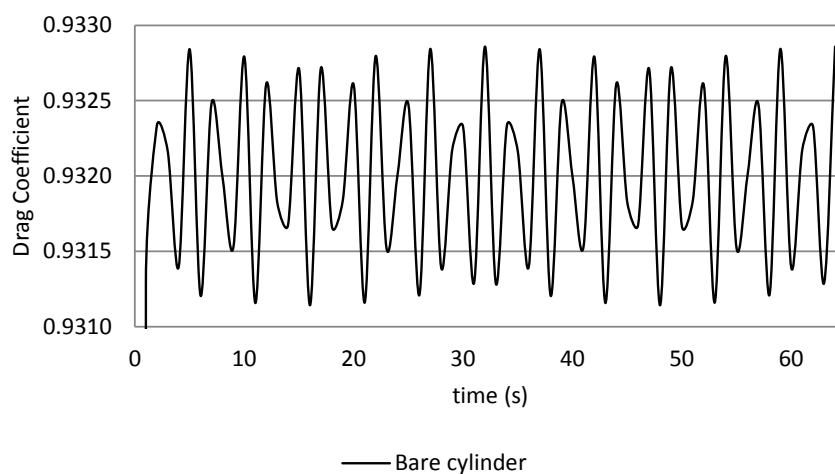


Gambar 4.46 Skema terbentuknya lapisan geser yang menyebabkan terbentuknya *vortex shedding* (Sumer, 1999)

Dengan terpasangnya *helical rods* bergap dapat merusak *vortex* yang terbentuk dan memecah ke beberapa bagian kecil dari *vortex*, hal ini terjadi diakibatkan *helical rods* berbentuk silinder, namun *vortex* yang terbentuk tidaklah berpengaruh terlalu besar bagi terjadinya efek yang signifikan bila dibandingkan dengan *vortex* yang terbentuk sebelum terpasangnya *helical rods* bergap.

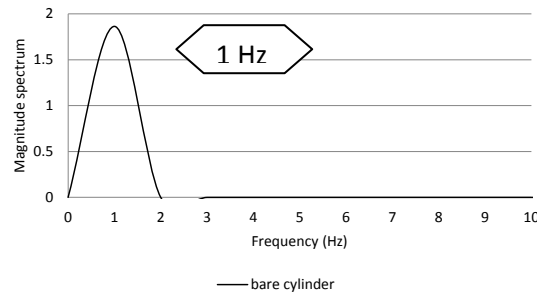
4.5 Efek penambahan *rods* terhadap frekuensi *vortex shedding*

Frekuensi *vortex shedding* yang terjadi pada *bare cylinder* akan dikomparasikan dengan silinder yang ditambahkan *rods*, nilai dari frekuensi *vortex shedding* dapat didekati dengan frekuensi dari grafik C_D dan C_L . Berikut adalah grafik C_D pada *bare cylinder*:



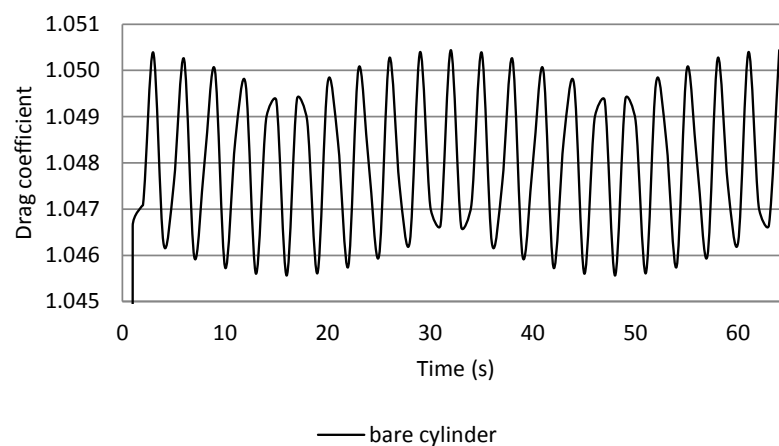
Gambar 4.47 C_D dalam fungsi waktu untuk *bare cylinder* pada $Re = 10^3$

Setelah mendapatkan fungsi waktu dari C_D maka akan dilakukan proses analisa FFT pada Microsoft Excel, hal ini untuk mengetahui frekuensi *vortex shedding* yang terjadi pada *bare cylinder*, berikut adalah hasil analisa FFT



Gambar 4.48 Frekuensi C_D untuk *bare cylinder* pada $Re = 10^3$

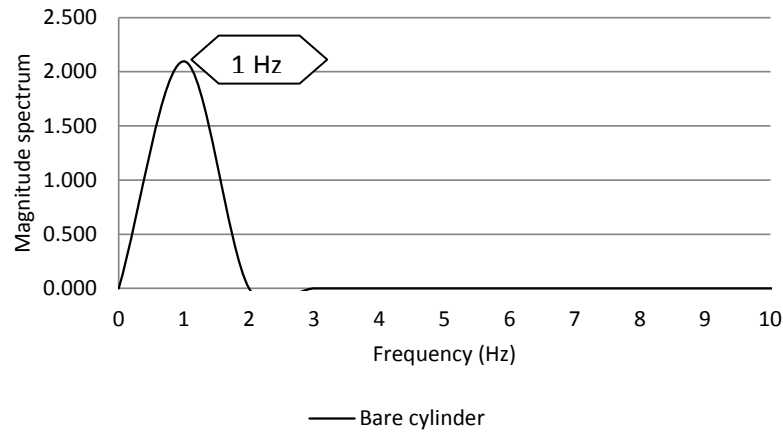
Frekuensi C_D yang terjadi pada *bare cylinder* dengan $Re = 10^3$ adalah 1 Hz dengan *magnitude spectrum* sebesar 1.864. Melalui pendekatan frekuensi C_D sama dengan dua kali frekuensi *vortex shedding*. Dapat diambil kesimpulan bahwa nilai dari frekuensi *vortex shedding* adalah 0.5 Hz dengan *magnitude spectrum* sebesar 1.864. Pada $Re = 10^4$ didapatkan grafik C_D seperti pada gambar 4.49 berikut ini



Gambar 4.49 C_D dalam fungsi waktu untuk *bare cylinder* pada $Re = 10^4$

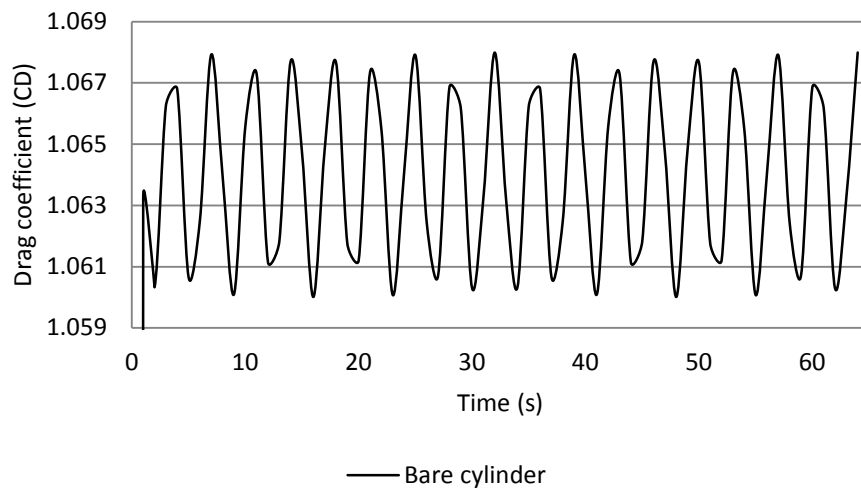
Setelah mendapatkan fungsi waktu dari C_D maka akan dilakukan proses analisa FFT pada Microsoft Excel, hal ini untuk mengetahui frekuensi *vortex shedding*

yang terjadi pada *bare cylinder*, berikut adalah hasil analisa FFT seperti yang terlihat pada gambar 4.50



Gambar 4.50 Frekuensi C_D untuk *bare cylinder* pada $Re = 10^4$

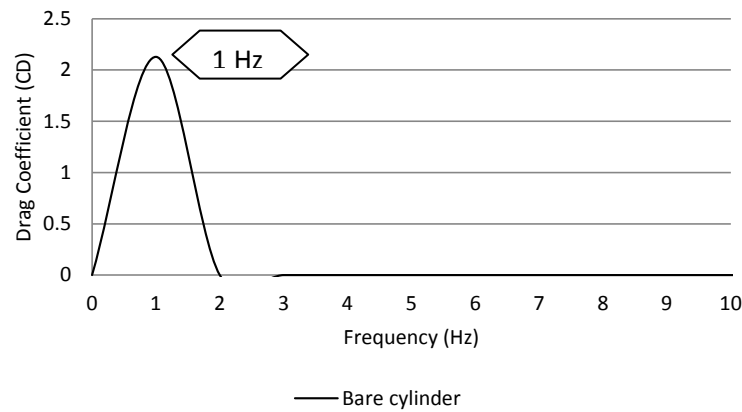
Frekuensi C_D yang terjadi pada *bare cylinder* dengan $Re = 10^4$ adalah 1 Hz, dengan *magnitude spectrum* sebesar 2.096 sehingga melalui pendekatan frekuensi C_D adalah dua kali frekuensi *vortex shedding* dapat diambil kesimpulan bahwa nilai dari frekuensi *vortex shedding* adalah 0.5Hz dengan *Magnitude spectrum* sebesar sebesar 2.096. Pada $Re = 10^5$ didapatkan grafik C_D seperti pada gambar 4.51 berikut ini



Gambar 4.51 C_D dalam fungsi waktu untuk *bare cylinder* pada $Re = 10^5$

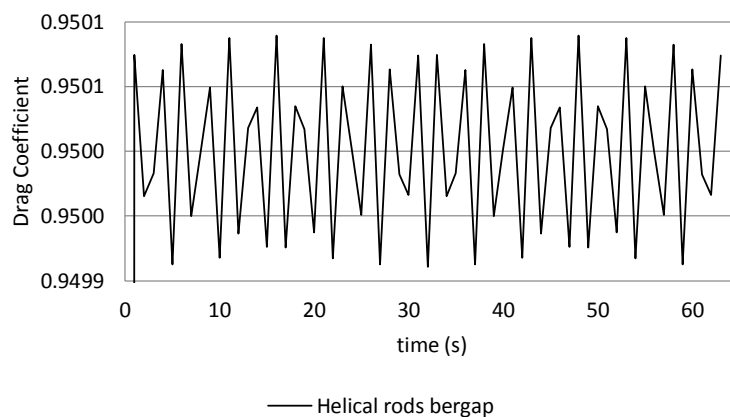
Setelah mendapatkan fungsi waktu dari C_D maka akan dilakukan proses analisa FFT pada Microsoft Excel, hal ini untuk mengetahui frekuensi *vortex shedding*

yang terjadi pada *bare cylinder*, berikut adalah hasil analisa FFT seperti yang terlihat pada gambar 4.52



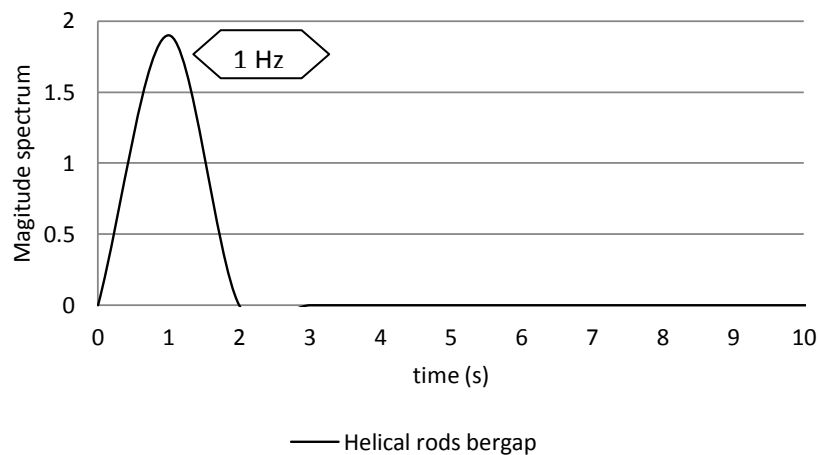
Gambar 4.52 Frekuensi C_D untuk *bare cylinder* pada $Re = 10^5$

Frekuensi C_D yang terjadi pada *bare cylinder* dengan $Re = 10^5$ adalah 1 Hz, dengan *magnitude spectrum* sebesar 2.128 sehingga melalui pendekatan frekuensi C_D adalah dua kali frekuensi *vortex shedding* dapat diambil kesimpulan bahwa nilai dari frekuensi *vortex shedding* adalah 0.5Hz dengan *Magnitude spectrum* sebesar 2.128. Nilai yang didapatkan pada analisa terhadap *bare cylinder* akan dibandingkan dengan analisa yang dilakukan terhadap *bare cylinder* yang ditambahkan dengan *rods*. Hasil analisa pengaruh penambahan *rods* terhadap frekuensi *vortex shedding* yang terjadi pada $Re = 10^3$



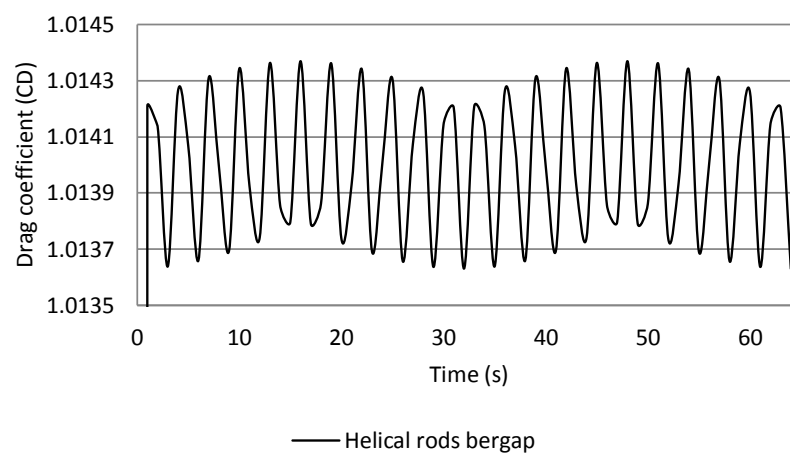
Gambar 4.53 C_D dalam fungsi waktu untuk *helical rods* pada $Re = 10^3$

Setelah mendapatkan fungsi waktu dari C_D maka akan dilakukan proses analisa FFT pada Microsoft Excel, hal ini untuk mengetahui frekuensi *vortex shedding* yang terjadi pada *bare cylinder* dengan pemasangan *helical rods*, berikut adalah hasil analisa FFT seperti yang terlihat pada gambar 4.54



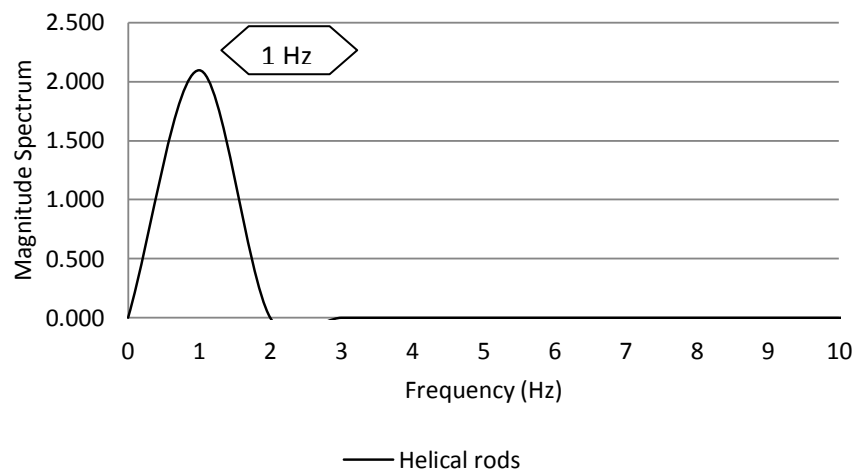
Gambar 4.54 Frekuensi C_D untuk pemasangan *helical rods* pada $Re = 10^3$

Frekuensi C_D yang terjadi pada *helical rods* dengan $Re = 10^3$ adalah 1 Hz, dengan *magnitude spectrum* sebesar 1.899 sehingga melalui pendekatan frekuensi C_D adalah dua kali frekuensi *vortex shedding* dapat diambil kesimpulan bahwa frekuensi *vortex shedding* adalah 0.5 Hz dengan *magnitude spectrum* sebesar 1.899. Pada $Re = 10^4$ didapatkan grafik C_D seperti pada gambar 4.55 berikut ini



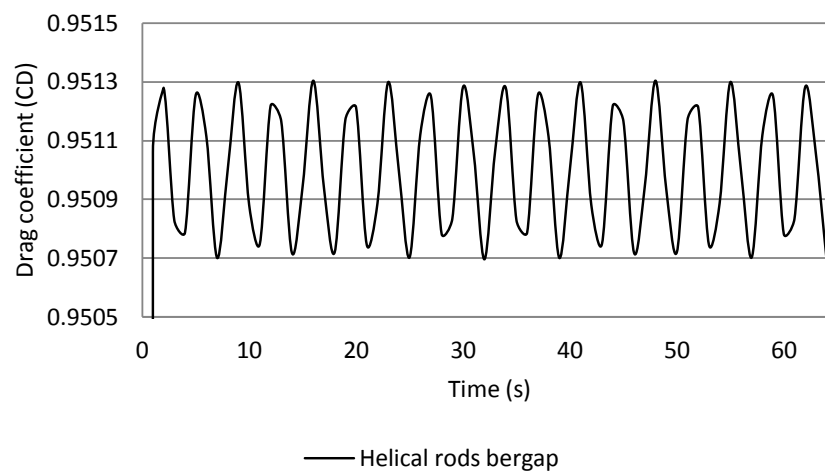
Gambar 4.55 C_D dalam fungsi waktu untuk *helical rods* pada $Re = 10^4$

Setelah mendapatkan fungsi waktu dari C_D maka akan dilakukan proses analisa FFT pada Microsoft Excel, hal ini untuk mengetahui frekuensi *vortex shedding* yang terjadi pada *bare cylinder* dengan pemasangan *helical rods*, Hasil analisa FFT seperti yang terlihat pada gambar 4.56



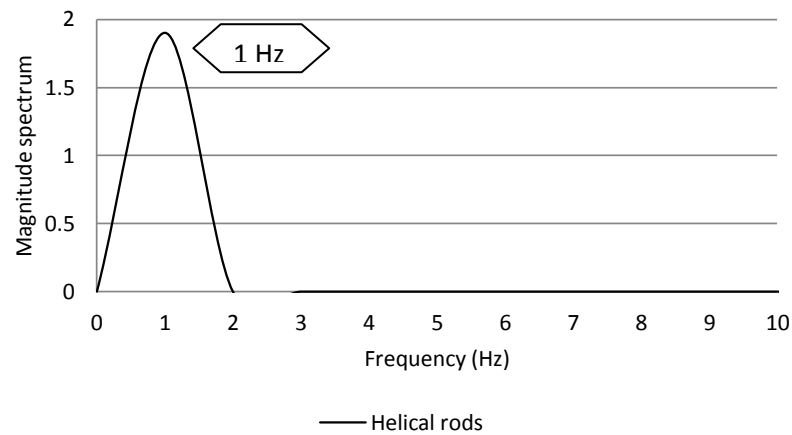
Gambar 4.56 Frekuensi C_D untuk pemasangan *helical rods* pada $Re = 10^4$

Frekuensi C_D yang terjadi pada *helical rods* dengan $Re = 10^4$ adalah 1 Hz, dengan *magnitude spectrum* sebesar 2.028 sehingga melalui pendekatan frekuensi C_D adalah dua kali frekuensi *vortex shedding* dapat diambil kesimpulan bahwa nilai frekuensi *vortex shedding* adalah 0.5 Hz dengan *magnitude spectrum* sebesar 2.028. Pada $Re = 10^5$ didapatkan grafik C_D seperti pada gambar 4.57 berikut ini



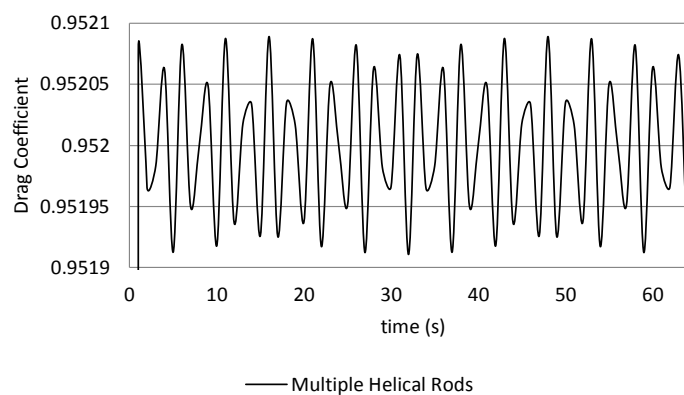
Gambar 4.57 C_D dalam fungsi waktu untuk *helical rods* pada $Re = 10^5$

Setelah mendapatkan fungsi waktu dari C_D maka akan dilakukan proses analisa FFT pada Microsoft Excel, hal ini untuk mengetahui frekuensi *vortex shedding* yang terjadi pada *bare cylinder* dengan pemasangan *helical rods*, Hasil analisa FFT seperti yang terlihat pada gambar 4.58



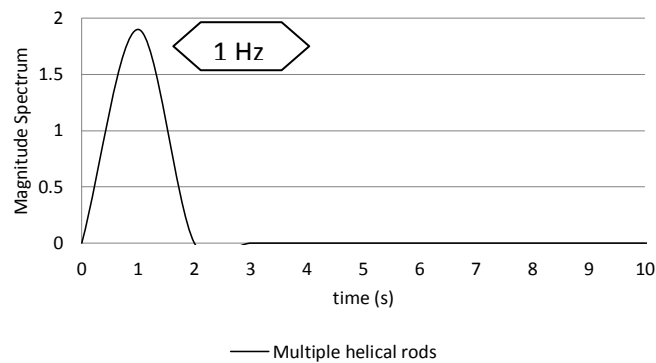
Gambar 4.58 Frekuensi C_D untuk pemasangan *helical rods* pada $Re = 10^5$

Frekuensi C_D yang terjadi pada *helical rods* dengan $Re = 10^5$ adalah 1 Hz, dengan *magnitude spectrum* sebesar 1.902 sehingga melalui pendekatan frekuensi C_D adalah dua kali frekuensi *vortex shedding* dapat diambil kesimpulan bahwa nilai dari frekuensi *vortex shedding* adalah 0.5 Hz dengan *magnitude spectrum* sebesar 1.902. komparasi hasil juga dilakukan pada *multiple helical rods*. berikut adalah hasil analisa pada *multiple helical rods*



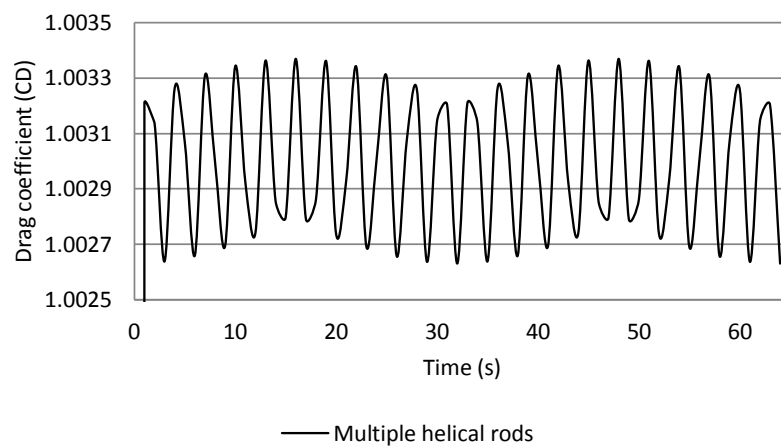
Gambar 4.59 C_D dalam fungsi waktu untuk *multiple helical rods* pada $Re = 10^3$

Setelah mendapatkan fungsi waktu dari C_D maka akan dilakukan proses analisa FFT pada Microsoft Excel, hal ini untuk mengetahui frekuensi *vortex shedding* yang terjadi pada *bare cylinder*, berikut adalah hasil analisa FFT seperti yang terlihat pada gambar 4.60



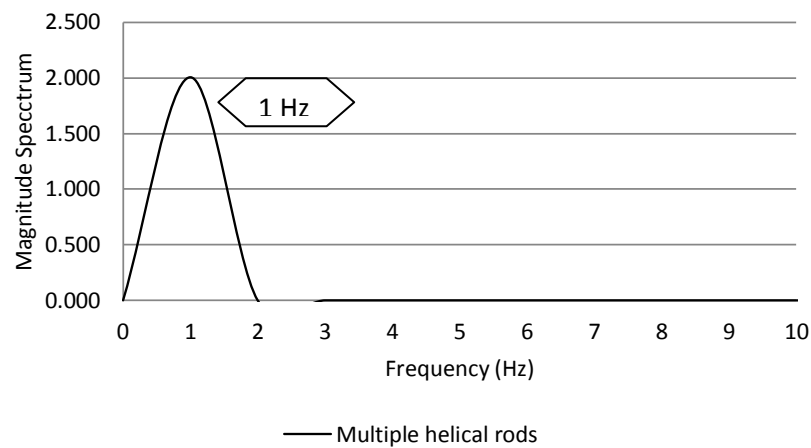
Gambar 4.60 Frekuensi C_D untuk pemasangan *multiple helical rods* pada $Re = 10^3$

Frekuensi C_D yang terjadi pada *multiple helical rods* dengan $Re = 10^3$ adalah 1 Hz, dengan *magnitude spectrum* sebesar 1.903 sehingga melalui pendekatan frekuensi C_D adalah dua kali frekuensi *vortex shedding* dapat diambil kesimpulan bahwa nilai dari frekuensi *vortex shedding* adalah 0.5Hz dengan *magnitude spectrum* sebesar 1.903. Pada $Re = 10^4$ didapatkan grafik C_D seperti pada gambar 4.61 berikut ini



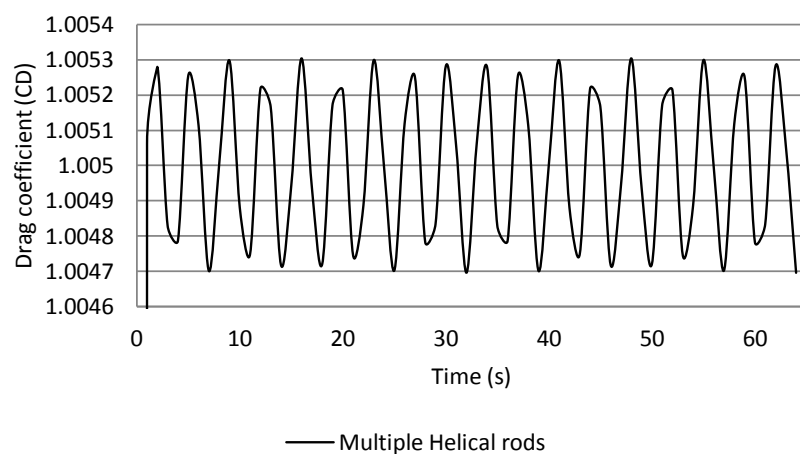
Gambar 4.61 C_D dalam fungsi waktu untuk *multiple helical rods* pada $Re = 10^4$

Setelah mendapatkan fungsi waktu dari C_D maka akan dilakukan proses analisa FFT pada Microsoft Excel, hal ini untuk mengetahui frekuensi *vortex shedding* yang terjadi pada *bare cylinder*, berikut adalah hasil analisa FFT seperti yang terlihat pada gambar 4.62



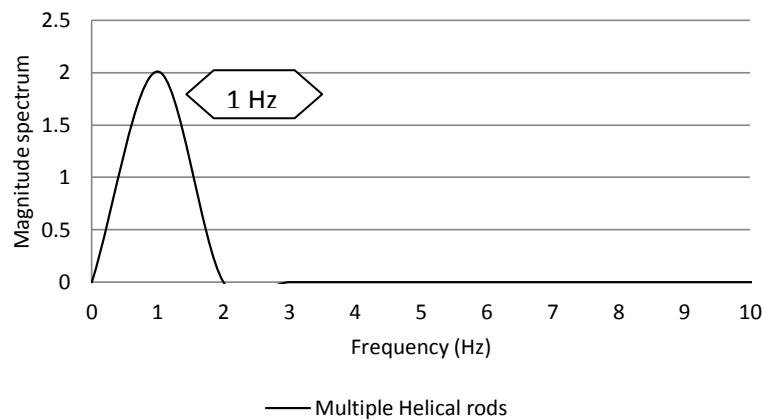
Gambar 4.62 Frekuensi C_D untuk pemasangan *multiple helical rods* pada $Re = 10^4$

Frekuensi C_D yang terjadi pada *multiple helical rods* dengan $Re = 10^4$ adalah 1 Hz, dengan *magnitude spectrum* sebesar 2.006 sehingga melalui pendekatan frekuensi C_D adalah dua kali frekuensi *vortex shedding* dapat diambil kesimpulan bahwa nilai dari frekuensi *vortex shedding* adalah 0.5Hz dengan *magnitude spectrum* sebesar 2.006. Pada $Re = 10^5$ didapatkan grafik C_D seperti pada gambar 4.63 berikut ini



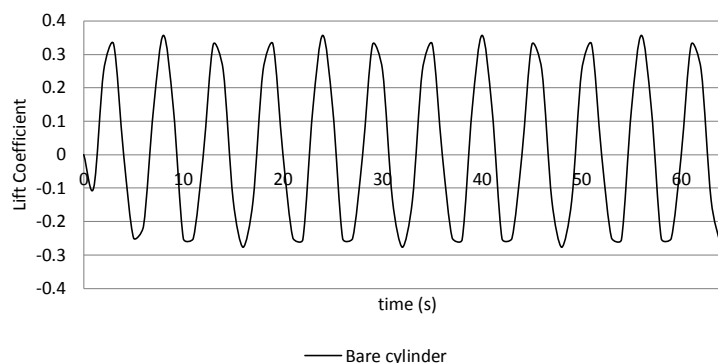
Gambar 4.63 C_D dalam fungsi waktu untuk *multiple helical rods* pada $Re = 10^5$

Setelah mendapatkan fungsi waktu dari C_D maka akan dilakukan proses analisa FFT pada Microsoft Excel, hal ini untuk mengetahui frekuensi *vortex shedding* yang terjadi pada *bare cylinder*, berikut adalah hasil analisa FFT seperti yang terlihat pada gambar 4.64



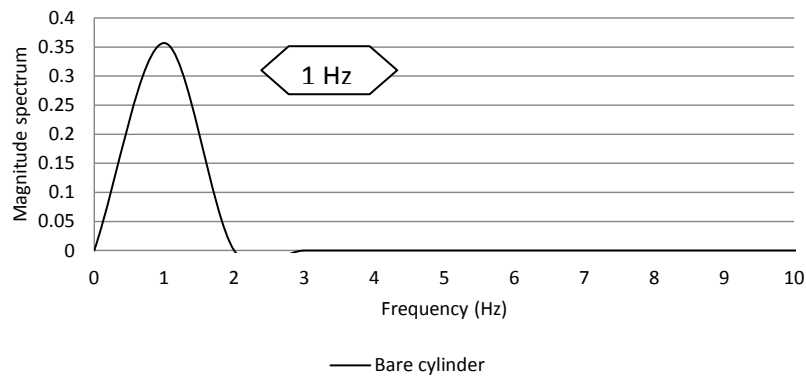
Gambar 4.64 Frekuensi C_D untuk pemasangan *multiple helical rods* pada $Re = 10^5$

Frekuensi C_D yang terjadi pada *multiple helical rods* dengan $Re = 10^5$ adalah 1 Hz, dengan *magnitude spectrum* sebesar 2.01 sehingga melalui pendekatan frekuensi C_D adalah dua kali frekuensi *vortex shedding* dapat diambil kesimpulan bahwa nilai dari frekuensi *vortex shedding* adalah 0.5Hz dengan *magnitude spectrum* sebesar 2.01. sedangkan grafik untuk C_L dapat dilihat pada gambar 4.65 berikut ini



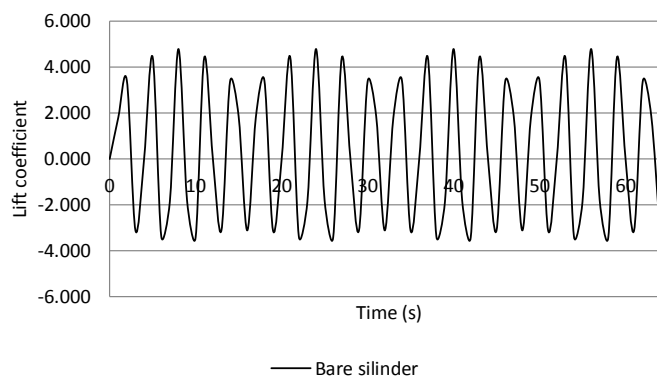
Gambar 4.65 C_L dalam fungsi waktu untuk *bare cylinder* pada $Re = 10^3$

Setelah mendapatkan fungsi waktu dari C_L maka akan dilakukan proses analisa FFT pada Microsoft Excel, hal ini untuk mengetahui frekuensi *vortex shedding* yang terjadi pada *bare cylinder*, berikut adalah hasil analisa FFT seperti yang terlihat pada gambar 4.66



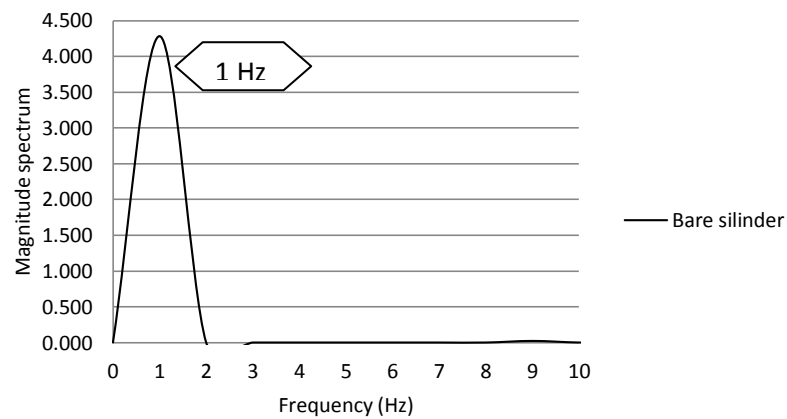
Gambar 4.66 Frekuensi C_L untuk *bare cylinder* pada $Re = 10^3$

Frekuensi C_L yang terjadi pada *bare cylinder* dengan $Re = 10^3$ adalah 1 Hz, dengan *magnitude spectrum* sebesar 0.355 sehingga melalui pendekatan frekuensi C_L adalah frekuensi *vortex shedding* dapat diambil kesimpulan bahwa nilai dari frekuensi *vortex shedding* adalah 1Hz dengan *magnitude spectrum* sebesar 0.355. Pada $Re = 10^4$ didapatkan grafik C_L seperti pada gambar 4.67 berikut ini



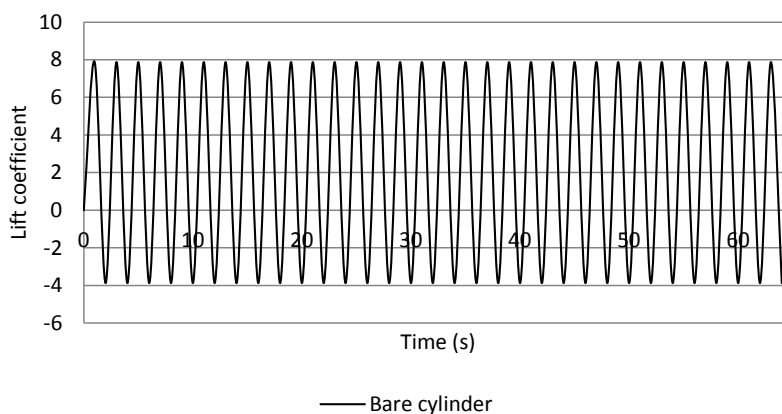
Gambar 4.67 C_L dalam fungsi waktu untuk *bare cylinder* pada $Re = 10^4$

Setelah mendapatkan fungsi waktu dari C_L maka akan dilakukan proses analisa FFT pada Microsoft Excel, hal ini untuk mengetahui frekuensi *vortex shedding* yang terjadi pada *bare cylinder*, berikut adalah hasil analisa FFT seperti yang terlihat pada gambar 4.68



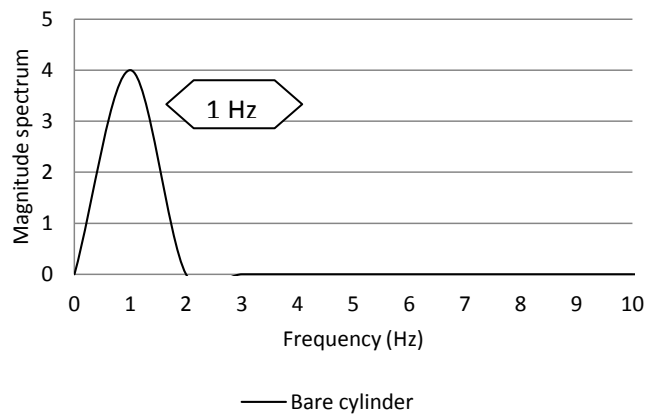
Gambar 4.68 Frekuensi C_L untuk *bare cylinder* pada $Re = 10^4$

Frekuensi C_L yang terjadi untuk *bare cylinder* dengan $Re = 10^4$ adalah 1 Hz, dengan *magnitude spectrum* sebesar 4.22 sehingga melalui pendekatan frekuensi C_L adalah frekuensi *vortex shedding* dapat diambil kesimpulan bahwa nilai dari frekuensi *vortex shedding* adalah 1Hz dengan *magnitude spectrum* sebesar 4.22. Pada $Re = 10^5$ didapatkan grafik C_L seperti pada gambar 4.69 berikut ini



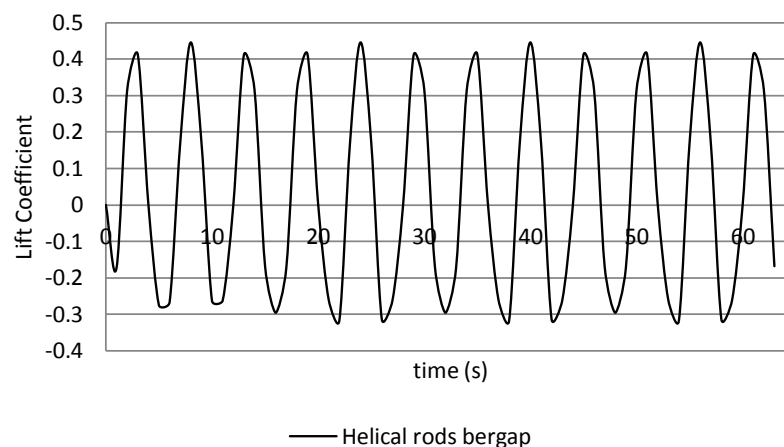
Gambar 4.69 C_L dalam fungsi waktu untuk *bare cylinder* pada $Re = 10^5$

Setelah mendapatkan fungsi waktu dari C_L maka akan dilakukan proses analisa FFT pada Microsoft Excel, hal ini untuk mengetahui frekuensi *vortex shedding* yang terjadi pada *bare cylinder*, berikut adalah hasil analisa FFT seperti yang terlihat pada gambar 4.70



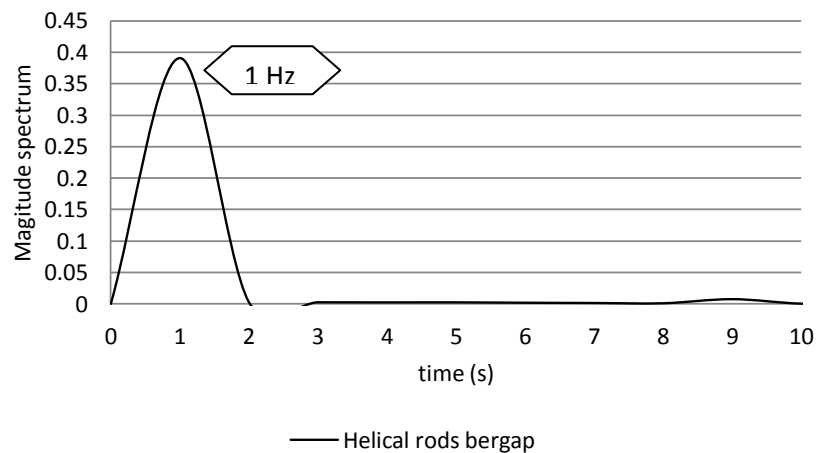
Gambar 4.70 Frekuensi C_L untuk *bare cylinder* pada $Re = 10^5$

Frekuensi C_L yang terjadi pada *bare cylinder* dengan $Re = 10^5$ adalah 1 Hz, dengan *magnitude spectrum* sebesar 4; sehingga melalui pendekatan frekuensi C_L adalah frekuensi *vortex shedding* dapat diambil kesimpulan bahwa nilai dari frekuensi *vortex shedding* adalah 1Hz dengan *magnitude spectrum* sebesar 4. berikut adalah grafik C_L pada *helical rods* pada $Re 10^3$ seperti pada gambar 4.71 berikut ini



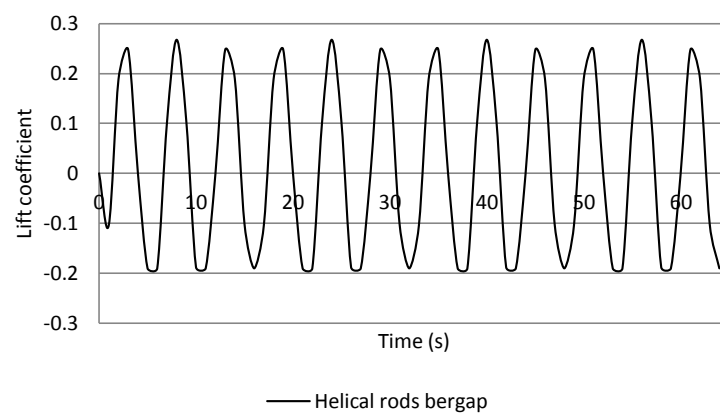
Gambar 4.71 C_L dalam fungsi waktu untuk *helical rods* pada $Re = 10^3$

Setelah mendapatkan fungsi waktu dari C_L maka akan dilakukan proses analisa FFT pada Microsoft Excel, hal ini untuk mengetahui frekuensi *vortex shedding* yang terjadi pada *bare cylinder* dengan pemasangan *helical rods*, berikut adalah hasil analisa FFT seperti yang terlihat pada gambar 4.72



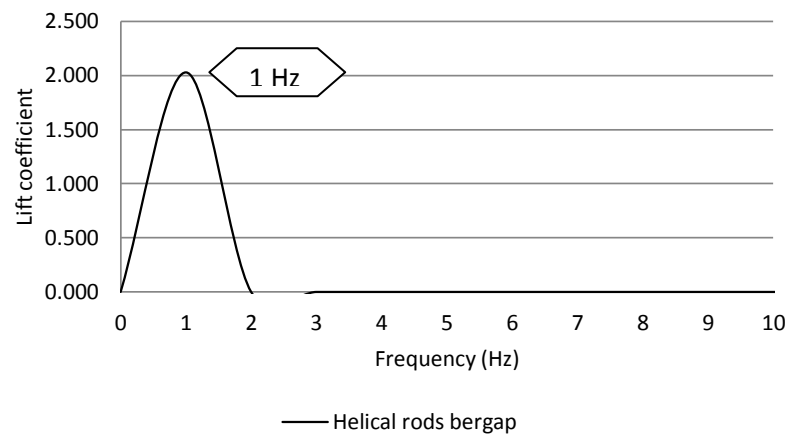
Gambar 4.72 Frekuensi C_L untuk *helical rods* pada $Re = 10^3$

Frekuensi C_L yang terjadi pada *helical rods* dengan $Re = 10^3$ adalah 1 Hz, dengan *magnitude spectrum* sebesar 0.39; sehingga melalui pendekatan frekuensi C_L adalah frekuensi *vortex shedding* dapat diambil kesimpulan bahwa nilai dari frekuensi *vortex shedding* adalah 1Hz dengan *magnitude spectrum* sebesar 0.39. berikut adalah grafik C_L pada *helical rods* pada $Re = 10^4$ seperti pada gambar 4.73 berikut ini



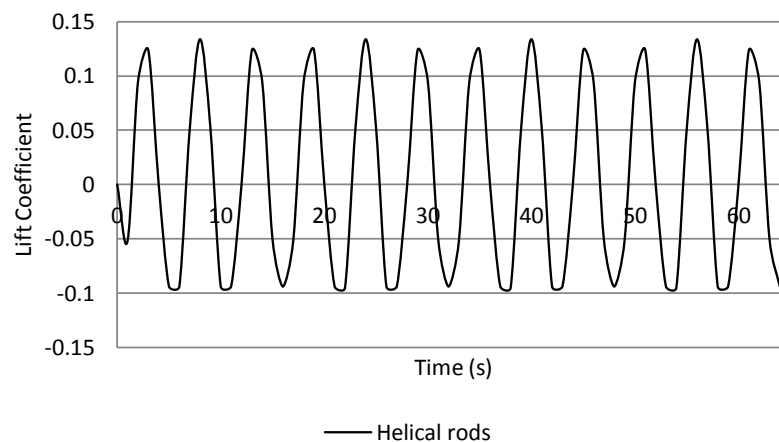
Gambar 4.73 C_L dalam fungsi waktu untuk *helical rods* pada $Re = 10^4$

Setelah mendapatkan fungsi waktu dari C_L maka akan dilakukan proses analisa FFT pada Microsoft Excel, hal ini untuk mengetahui frekuensi *vortex shedding* yang terjadi pada *bare cylinder* dengan pemasangan *helical rods*, berikut adalah hasil analisa FFT seperti yang terlihat pada gambar 4.74



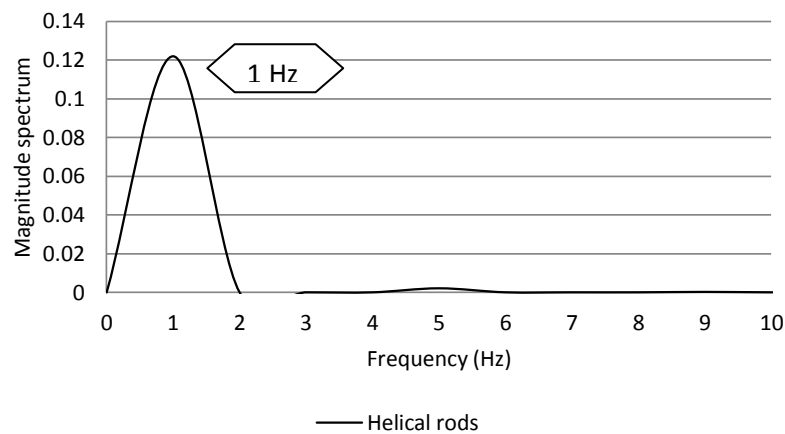
Gambar 4.74 Frekuensi C_L untuk *helical rods* pada $Re = 10^4$

Frekuensi C_L yang terjadi pada *helical rods* dengan $Re = 10^4$ adalah 1 Hz, dengan *magnitude spectrum* sebesar 2.028; sehingga melalui pendekatan frekuensi C_L adalah frekuensi *vortex shedding* dapat diambil kesimpulan bahwa nilai dari frekuensi *vortex shedding* adalah 1Hz dengan *magnitude spectrum* sebesar 2.028. berikut adalah grafik C_L pada *helical rods* pada $Re 10^5$ seperti pada gambar 4.75 berikut ini



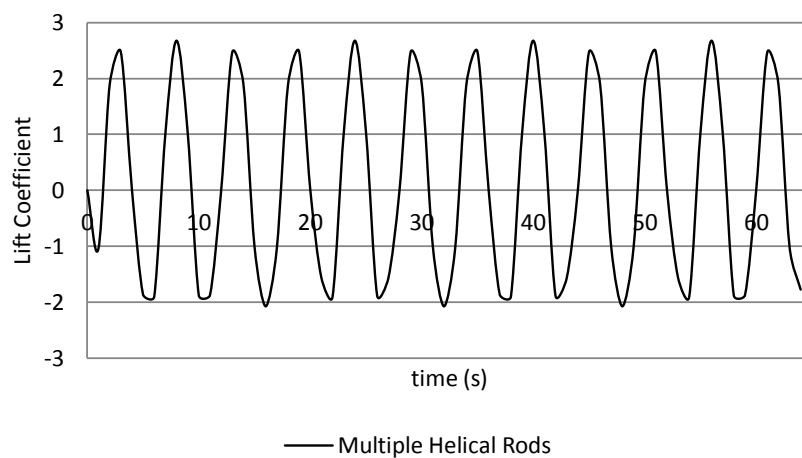
Gambar 4.75 C_L dalam fungsi waktu untuk *helical rods* pada $Re = 10^5$

Setelah mendapatkan fungsi waktu dari C_L maka akan dilakukan proses analisa FFT pada Microsoft Excel, hal ini untuk mengetahui frekuensi *vortex shedding* yang terjadi pada *bare cylinder* dengan pemasangan *helical rods*, berikut adalah hasil analisa FFT seperti yang terlihat pada gambar 4.76



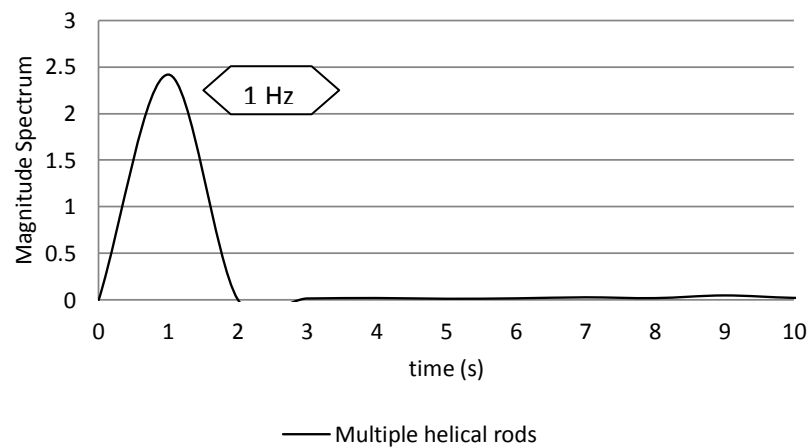
Gambar 4.76 Frekuensi C_L untuk *helical rods* pada $Re = 10^5$

Frekuensi C_L yang terjadi pada *helical rods* dengan $Re = 10^5$ adalah 1 Hz, dengan *magnitude spectrum* sebesar 0.1219; sehingga melalui pendekatan frekuensi C_L adalah frekuensi *vortex shedding* dapat diambil kesimpulan bahwa nilai dari frekuensi *vortex shedding* adalah 1Hz dengan *magnitude spectrum* sebesar 0.1219. berikut adalah grafik C_L pada *multiple helical rods* pada $Re = 10^3$ seperti pada gambar 4.77 berikut ini



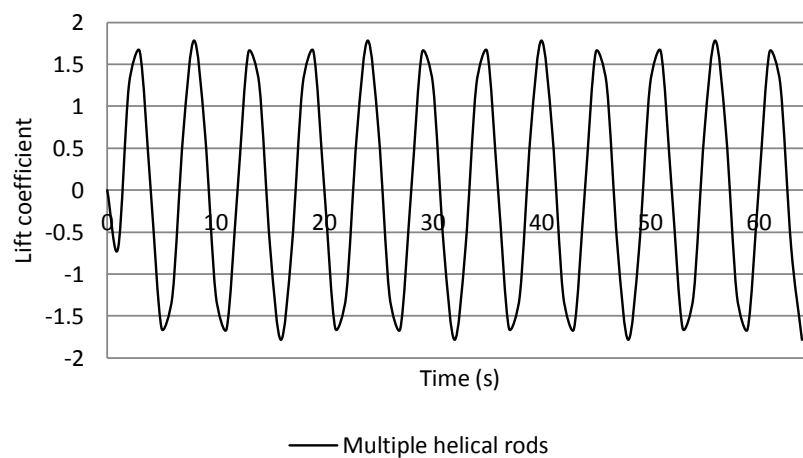
Gambar 4.77 C_L dalam fungsi waktu untuk *multiple helical rods* pada $Re = 10^3$

Setelah mendapatkan fungsi waktu dari C_L maka akan dilakukan proses analisa FFT pada Microsoft Excel, hal ini untuk mengetahui frekuensi *vortex shedding* yang terjadi pada *bare cylinder* dengan pemasangan *multiple helical rods*, berikut adalah hasil analisa FFT seperti yang terlihat pada gambar 4.78



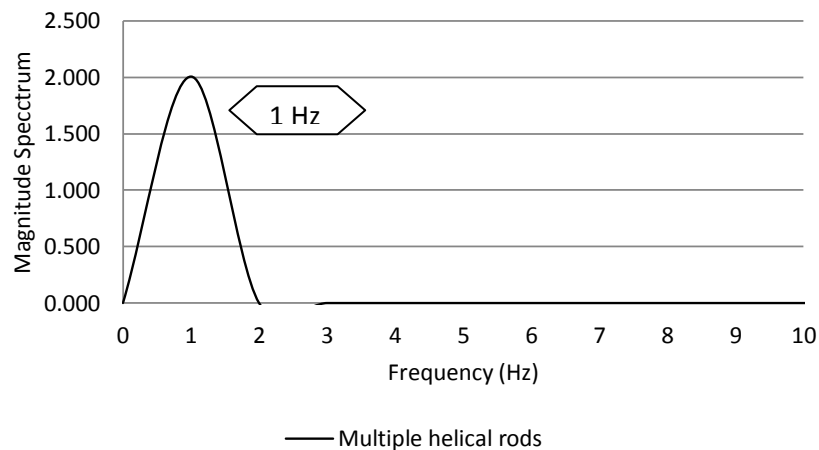
Gambar 4.78 Frekuensi C_L untuk *multiple helical rods* pada $Re = 10^3$

Frekuensi C_L yang terjadi pada *helical rods* dengan $Re = 10^3$ adalah 1 Hz, dengan *magnitude spectrum* sebesar 2.418; sehingga melalui pendekatan frekuensi C_L adalah frekuensi *vortex shedding* dapat diambil kesimpulan bahwa nilai dari frekuensi *vortex shedding* adalah 1Hz dengan *magnitude spectrum* sebesar 2.418. berikut adalah grafik C_L pada *multiple helical rods* pada $Re = 10^4$ seperti pada gambar 4.79 berikut ini



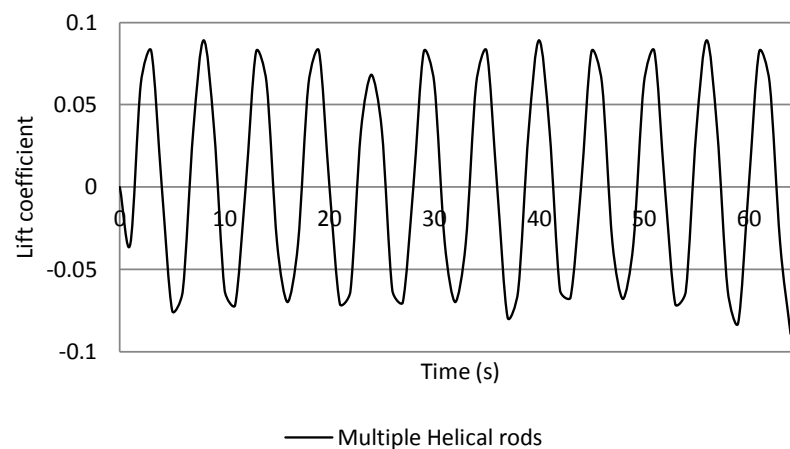
Gambar 4.79 C_L dalam fungsi waktu untuk *multiple helical rods* pada $Re = 10^4$

Setelah mendapatkan fungsi waktu dari C_L maka akan dilakukan proses analisa FFT pada Microsoft Excel, hal ini untuk mengetahui frekuensi *vortex shedding* yang terjadi pada *bare cylinder* dengan pemasangan *multiple helical rods*, berikut adalah hasil analisa FFT seperti yang terlihat pada gambar 4.80



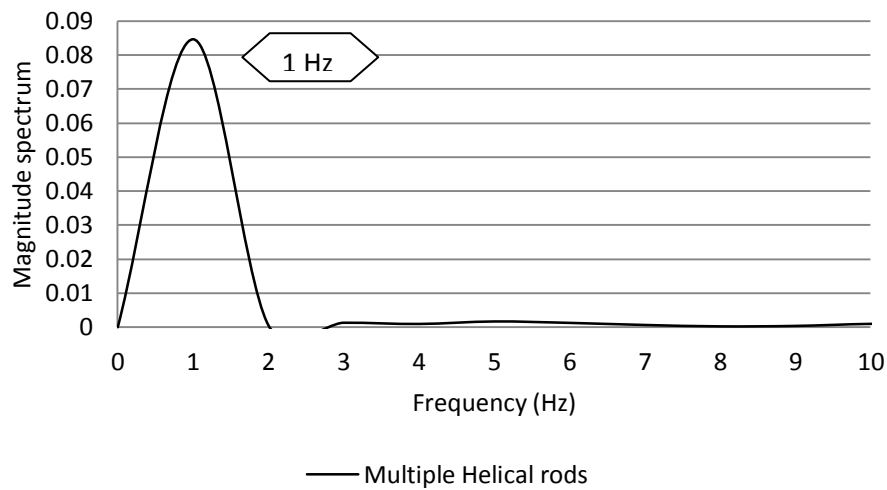
Gambar 4.80 Frekuensi C_L untuk *multiple helical rods* pada $Re = 10^4$

Frekuensi C_L yang terjadi pada *helical rods* dengan $Re = 10^4$ adalah 1 Hz, dengan *magnitude spectrum* sebesar 2.006; sehingga melalui pendekatan frekuensi C_L adalah frekuensi *vortex shedding* dapat diambil kesimpulan bahwa nilai dari frekuensi *vortex shedding* adalah 1Hz dengan *magnitude spectrum* sebesar 2.006. berikut adalah grafik C_L pada *multiple helical rods* pada $Re = 10^5$ seperti pada gambar 4.81 berikut ini



Gambar 4.81 C_L dalam fungsi waktu untuk *multiple helical rods* pada $Re = 10^5$

Setelah mendapatkan fungsi waktu dari C_L maka akan dilakukan proses analisa FFT pada Microsoft Excel, hal ini untuk mengetahui frekuensi *vortex shedding* yang terjadi pada *bare cylinder* dengan pemasangan *multiple helical rods*, berikut adalah hasil analisa FFT seperti yang terlihat pada gambar 4.82



Gambar 4.82 Frekuensi C_L untuk *multiple helical rods* pada $Re = 10^5$

Frekuensi C_L yang terjadi pada *helical rods* dengan $Re = 10^5$ adalah 1 Hz, dengan *magnitude spectrum* sebesar 0.084; sehingga melalui pendekatan frekuensi C_L adalah frekuensi *vortex shedding* dapat diambil kesimpulan bahwa nilai dari frekuensi *vortex shedding* adalah 1Hz dengan *magnitude spectrum* sebesar 0.084.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk pengerjaan selanjutnya terkait dengan penelitian ini lebih mendalam.

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini, sebagai berikut.

1. Penambahan *helical rods* ber-gap berpengaruh terhadap penurunan C_D dan C_L . Penurunan secara signifikan terjadi pada konfigurasi pemasangan *helical rods* ber-gap pada arah datang aliran 0° , pengurangan terjadi pada C_D sebesar $\pm 3.5\%$ ($Re = 10^4$) dan $\pm 12\%$ ($Re = 10^5$) sedangkan pada C_L terjadi pengurangan sebesar $\pm 777\%$ ($Re = 10^3$), $\pm 142\%$ ($Re = 10^4$) dan $\pm 645\%$ ($Re = 10^5$). Pada Penambahan *multiple helical rods* ber-gap yang sangat berpengaruh terhadap penurunan C_D dan C_L adalah konfigurasi pemasangan *multiple helical rods* dengan arah datang 0° , pengurangan terjadi pada C_D sebesar $\pm 4.5\%$ ($Re = 10^4$) dan $\pm 6\%$ ($Re = 10^5$) sedangkan penurunan untuk nilai C_L sebesar $\pm 218\%$ ($Re = 10^5$).
2. Pengaruh penambahan *helical rods* terhadap pola aliran yang berada dibelakang silinder mampu merusak *vortex shedding* yang terjadi saat sebelum terpasang *helical rods*, seiring bertambahnya *Reynolds number* maka pola aliran dibelakang silinder semakin rusak. Hal ini dapat dilihat pada *vortex shedding* yang terbentuk dibelakang *bare cylinder* sudah tidak terlihat saat penambahan *rods*, baik *helical rods* bergap maupun *multiple helical rods* bergap
3. Komparasi dilakukan terhadap pengaruh pemasangan *rods* antara *bare cylinder* dan *helical rods* terhadap besarnya frekuensi *vortex shedding*. Hasil dari analisa terhadap frekuensi *vortex shedding* mendapatkan hasil bahwa frekuensi yang terjadi pada *bare cylinder* dan pemasangan *helical rods* memiliki nilai yang sama, yakni 1Hz, hal ini bisa diakibatkan keterbatasan data sehingga tidak mendapatkan hasil yang detail

5.2. Saran

1. Dalam proses konfigurasi *meshing* perlunya analisa yang lebih dalam terkait variabel-variabel yang masih belum dipergunakan, hal ini dapat mempengaruhi hasil simulasi CFD
2. Dalam pengerjaan selanjutnya diharapkan adanya proses komparasi turbulensi terhadap variasi *Reynolds number*, hal ini dikarenakan jenis turbulensi tidak sepenuhnya dapat dipakai dalam beberapa variasi *Reynolds number*. Sehingga penelitian mendatang akan lebih mudah menentukan jenis turbulensi untuk *Reynolds number* tertentu
3. Adanya Interpretasi yang masih salah dalam pemodelan pada ANSYS CFX terkait perhitungan *Reynolds number*, nilai dari diameter yang terbaca pada perhitungan *Reynolds number* bukanlah nilai dari diameter dari model penelitian sehingga diragukan tingkat validitasnya
4. Pengembangan penelitian untuk analisa VIV pada objek *bare cylinder* yang terpasang *multiple helical rods*
5. Uji eksperimen untuk proses validasi hasil numeris pada *multiple helical rods*

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Perhitungan Gaya Fluida

Lampiran B Output ANSYS CFX

Lampiran C Analisis FFT

LAMPIRAN A

PERHITUNGAN GAYA FLUIDA

RODS ARAH 0°

MESHING	Kecepatan	RESULTS							Turbulent	RE	JENIS
Max Face Size		Nodes	Elements	Force	Cd	Selisih nilai Cd	CI	Selisih nilai CI			
0.2	0.002883477	244851	1106390	0.00645687	0.950	1.949	0.03848	-777.376	SST	1000	SINGLE
0.2	0.028834769	244851	1106390	0.451688	1.014	-3.433	0.17212	-142.002	SST	10000	
0.2	0.288347692	244851	1106390	27.7955	0.951	-11.906	0.10171	-645.118	SST	100000	
0.2	0.002883477	304660	1455804	0.00647082	0.952	2.161	2.19343	84.607	SST	1000	MULTIPLE
0.2	0.028834769	304660	1455804	0.44682	1.003	-4.560	1.64603	74.695	SST	10000	
0.2	0.288347692	304660	1455804	29.3847	1.005	-5.853	0.23817	-218.200	SST	100000	

RODS ARAH 15°

MESHING	Kecepatan	RESULTS								Turbulent	RE	JENIS
Max Face Size		Nodes	Elements	Force	Cd	selisih nilai Cd	Force	CI	selisih nilai CI			
0.2	0.002883477	247282	1123976	0.00656493	0.966	3.563	2.55E-05	1.466143	76.970521	SST	1000	SINGLE
0.2	0.028834769	247282	1123976	0.46492	1.043	-0.490	-0.00064	0.136506	-205.137053	SST	10000	
0.2	0.288347692	247282	1123976	28.3541	0.970	-9.701	-0.02913	0.023162	-3171.913954	SST	100000	
0.2	0.002883477	305349	1460845	0.00655684	0.965	3.444	5.93E-06	0.341521	1.134815	SST	1000	MULTIPLE
0.2	0.028834769	305349	1460845	0.460639	1.034	-1.423	-0.00918	1.965177	78.804400	SST	10000	
0.2	0.288347692	305349	1460845	29.6871	1.016	-4.775	-0.43651	0.347097	-118.337724	SST	100000	

RODS ARAH 30°

MESHING	Kecepatan	RESULTS								Turbulent	RE	JENIS
Max Face Size		Nodes	Elements	Force	Cd	selisih Cd	Force	CI	Selisih CI			
0.2	0.002883477	247350	1124238	0.00657401	0.968	3.697	-1.74E-05	1.003182	66.342578	SST	1000	SINGLE
0.2	0.028834769	247350	1124238	0.466226	1.046	-0.208	-0.00182	0.388467	-7.224215	SST	10000	
0.2	0.288347692	247350	1124238	28.4513	0.974	-9.326	0.88695	0.705270	-7.454310	SST	100000	
0.2	0.002883477	307455	1474010	0.00657017	0.967	3.640	3.64E-05	2.098923	83.913406	SST	1000	MULTIPLE
0.2	0.028834769	307455	1474010	0.462242	1.037	-1.072	0.008994	1.924885	78.360735	SST	10000	
0.2	0.288347692	307455	1474010	30.3198	1.037	-2.589	1.43622	1.142029	33.640668	SST	100000	

RODS ARAH 45°

MESHING	Kecepatan	RESULTS								Turbulent	RE	JENIS
Max Face Size		Nodes	Elements	Force	Cd	Selisih Cd	Force	Cl	selisih cl			
0.2	0.002883477	244879	1107853	0.00656279	0.966	3.532	8.88E-05	5.116695	93.401107	SST	1000	SINGLE
0.2	0.028834769	244879	1107853	0.467813	1.050	0.132	0.003564	0.762741	45.390223	SST	10000	
0.2	0.288347692	244879	1107853	28.8782	0.988	-7.710	0.102967	0.081876	-825.603349	SST	100000	
0.2	0.002883477	305925	1462446	0.00657717	0.968	3.743	4.95E-05	2.851825	88.160381	SST	1000	MULTIPLE
0.2	0.028834769	305925	1462446	0.46047	1.033	-1.461	0.002098	0.449012	7.233815	SST	10000	
0.2	0.288347692	305925	1462446	30.2458	1.035	-2.840	0.062611	0.049786	-1422.207031	SST	100000	

RODS ARAH 60°

MESHING	Kecepatan	RESULTS								Turbulent	RE	JENIS
Max Face Size		Nodes	Elements	Force	Cd	selisih cd	Force	Cl	selisih cl			
0.2	0.002883477	242289	1094222	0.00661577	0.974	4.304	-2.55E-05	1.471034	77.047085	SST	1000	SINGLE
0.2	0.028834769	242289	1094222	0.472009	1.059	1.020	-0.02687	5.751192	92.757485	SST	10000	
0.2	0.288347692	242289	1094222	29.0258	0.993	-7.162	-0.88173	0.701121	-8.090213	SST	100000	
0.2	0.002883477	302373	1444309	0.00660927	0.973	4.210	2.58E-05	1.484248	77.251438	SST	1000	MULTIPLE
0.2	0.028834769	302373	1444309	0.461538	1.036	-1.226	-0.00141	0.302052	-37.900405	SST	10000	
0.2	0.288347692	302373	1444309	30.5152	1.044	-1.932	0.286079	0.227479	-233.147837	SST	100000	

Variasi Gap Single Rods Arah 0°

MESHING	RE	Kecepatan	RESULTS					Turbulent
Max Face Size			GAP	Force	Cd	Force	Cl	
0.2	1000	0.002883477	0.01	0.00704361	1.043	-2.33E-06	-0.000345	SST
0.2	1000	0.002883477	0.03	0.00617588	0.915	-2.65E-05	-0.003923	SST
0.2	1000	0.002883477	0.04	0.00597992	0.886	3.24E-05	0.004798	SST
0.2	1000	0.002883477	0.05	0.00587996	0.871	1.14E-05	0.001684	SST
0.2	1000	0.002883477	0.06	0.00582202	0.862	4.56E-06	0.000676	SST
0.2	1000	0.002883477	0.1	0.00574022	0.850	3.92E-05	0.005809	SST
0.2	1000	0.002883477	0.125	0.00575068	0.852	1.83E-05	0.002710	SST
0.2	1000	0.002883477	0.15	0.00581276	0.861	-1.59E-05	-0.002353	SST

LAMPIRAN B
OUTPUT ANSYS CFX

This run of the CFX-14.5 Solver started at 16:10:39 on 18 Jan 2015 by user asus on ASUS-PC (intel_xeon64.sse2_winnt) using the command:
"C:\Program Files\ANSYS Inc\v145\CFX\bin\perl\lib\cfx5solve.pl" -batch
-ccl runInput.ccl -fullname "Fluid Flow CFX_001"

Setting up CFX Solver run ...

```
+-----+
|                                     |
|          CFX Command Language Upgrade          |
|                                     |
+-----+
```

Added /SIMULATION CONTROL/EXECUTION CONTROL/EXECUTABLE SELECTION/Double Precision = Off.

```
+-----+
|                                     |
|          CFX Command Language for Run          |
|                                     |
+-----+
```

LIBRARY:

MATERIAL: Water

Material Description = Water (liquid)

Material Group = Water Data, Constant Property Liquids

Option = Pure Substance

Thermodynamic State = Liquid

PROPERTIES:

Option = General Material

EQUATION OF STATE:

Density = 997.0 [kg m⁻³]

Molar Mass = 18.02 [kg kmol⁻¹]

Option = Value

END

SPECIFIC HEAT CAPACITY:

Option = Value

Specific Heat Capacity = 4181.7 [J kg⁻¹ K⁻¹]

Specific Heat Type = Constant Pressure

END

REFERENCE STATE:

Option = Specified Point

Reference Pressure = 1 [atm]
Reference Specific Enthalpy = 0.0 [J/kg]
Reference Specific Entropy = 0.0 [J/kg/K]
Reference Temperature = 25 [C]
END
DYNAMIC VISCOSITY:
Dynamic Viscosity = 8.899E-4 [kg m⁻¹ s⁻¹]
Option = Value
END
THERMAL CONDUCTIVITY:
Option = Value
Thermal Conductivity = 0.6069 [W m⁻¹ K⁻¹]
END
ABSORPTION COEFFICIENT:
Absorption Coefficient = 1.0 [m⁻¹]
Option = Value
END
SCATTERING COEFFICIENT:
Option = Value
Scattering Coefficient = 0.0 [m⁻¹]
END
REFRACTIVE INDEX:
Option = Value
Refractive Index = 1.0 [m m⁻¹]
END
THERMAL EXPANSIVITY:
Option = Value
Thermal Expansivity = 2.57E-04 [K⁻¹]
END
END
END
END
FLOW: Flow Analysis 1
SOLUTION UNITS:
Angle Units = [rad]
Length Units = [m]
Mass Units = [kg]
Solid Angle Units = [sr]

Temperature Units = [K]

Time Units = [s]

END

ANALYSIS TYPE:

Option = Steady State

EXTERNAL SOLVER COUPLING:

Option = None

END

END

DOMAIN: Default Domain

Coord Frame = Coord 0

Domain Type = Fluid

Location = B19

BOUNDARY: Default Domain Default

Boundary Type = WALL

Location = F18.19

BOUNDARY CONDITIONS:

MASS AND MOMENTUM:

Option = No Slip Wall

END

WALL ROUGHNESS:

Option = Smooth Wall

END

END

END

BOUNDARY: inlet

Boundary Type = INLET

Location = inlet

BOUNDARY CONDITIONS:

FLOW REGIME:

Option = Subsonic

END

MASS AND MOMENTUM:

Normal Speed = 0.002883477 [m s⁻¹]

Option = Normal Speed

END

TURBULENCE:

Option = Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio

```
END
END
END
BOUNDARY: outlet
Boundary Type = OUTLET
Location = outlet
BOUNDARY CONDITIONS:
FLOW REGIME:
Option = Subsonic
END
MASS AND MOMENTUM:
Normal Speed = 0.002883477 [m s-1]
Option = Normal Speed
END
END
END
BOUNDARY: wall
Boundary Type = WALL
Location = wall
BOUNDARY CONDITIONS:
MASS AND MOMENTUM:
Option = Free Slip Wall
END
END
END
DOMAIN MODELS:
BUOYANCY MODEL:
Option = Non Buoyant
END
DOMAIN MOTION:
Option = Stationary
END
MESH DEFORMATION:
Option = None
END
REFERENCE PRESSURE:
Reference Pressure = 1 [atm]
END
```

END

FLUID DEFINITION: Fluid 1

Material = Water

Option = Material Library

MORPHOLOGY:

Option = Continuous Fluid

END

END

FLUID MODELS:

COMBUSTION MODEL:

Option = None

END

HEAT TRANSFER MODEL:

Fluid Temperature = 25 [C]

Option = Isothermal

END

THERMAL RADIATION MODEL:

Option = None

END

TURBULENCE MODEL:

Option = SST

END

TURBULENT WALL FUNCTIONS:

Option = Automatic

END

END

END

OUTPUT CONTROL:

RESULTS:

File Compression Level = Default

Option = Standard

END

END

SOLVER CONTROL:

Turbulence Numerics = First Order

ADVECTION SCHEME:

Option = High Resolution

END

CONVERGENCE CONTROL:

Length Scale Option = Conservative
Maximum Number of Iterations = 100
Minimum Number of Iterations = 1
Timescale Control = Auto Timescale
Timescale Factor = 1.0

END

CONVERGENCE CRITERIA:

Residual Target = 1.E-4
Residual Type = RMS

END

DYNAMIC MODEL CONTROL:

Global Dynamic Model Control = On

END

END

END

COMMAND FILE:

Version = 14.5
Results Version = 14.5

END

SIMULATION CONTROL:

EXECUTION CONTROL:

EXECUTABLE SELECTION:

Double Precision = Off

END

PARALLEL HOST LIBRARY:

HOST DEFINITION: asuspc
Remote Host Name = ASUS-PC
Installation Root = C:\Program Files\ANSYS Inc\v%v\CFX
Host Architecture String = winnt-amd64

END

END

RUN DEFINITION:

Solver Input File = Fluid Flow CFX.def
Run Mode = Full

END

SOLVER STEP CONTROL:

PARALLEL ENVIRONMENT:

Start Method = Serial
END
END
END
END

Solver

ANSYS(R) CFX(R) Solver 14.5	
Version 2012.09.19-21.47	Wed Sep 19 22:33:53 GMTDT 2012
Executable Attributes	
single-int32-64bit-novc8-noifort-novc6-optimised-supfort-noprof-nos	
(C) 2012 ANSYS, Inc.	
All rights reserved. Unauthorized use, distribution or duplication is prohibited. This product is subject to U.S. laws governing export and re-export. For full Legal Notice, see documentation.	

Job Information at Start of Run

Run mode: serial run

Host computer: ASUS-PC (PID:3124)

Job started: Sun Jan 18 16:10:41 2015

```
+-----+
|           License Information           |
+-----+
```

License Cap: ANSYS CFX Solver (Max 128K Nodes)

License ID: ASUS-PC-SYSTEM-1968-007267

```
+-----+
|   Memory Allocated for Run (Actual usage may be less)   |
+-----+
```

Data Type	Mwords	Words/Node	Words/Elem	Mbytes	Bytes/Node
Real	21.85	479.09	107.27	83.37	1916.38
Integer	7.51	164.70	36.88	28.66	658.80
Character	3.66	80.29	17.98	3.49	80.29
Logical	0.12	2.63	0.59	0.46	10.52
Double	0.91	19.91	4.46	6.93	159.24

```
+-----+
|   Host Memory Information (Mbytes)   |
+-----+
|   Host   |   System   |   Allocated   |   %   |
+-----+
| ASUS-PC   |   3547.88   |   122.91   |   3.46   |
+-----+
```

```
+-----+
|           Mesh Statistics           |
+-----+
| Domain Name   | Orthog. Angle | Exp. Factor | Aspect Ratio |
+-----+
|           | Minimum [deg] | Maximum   | Maximum   |
+-----+
```

Default Domain	47.9 ok	55 !	122 ok
	%! %ok %OK	%! %ok %OK	%! %ok %OK
Default Domain	0 <1 100	3 3 94	0 1 99

Domain Name : Default Domain

Total Number of Nodes	=	45616
Total Number of Elements	=	203736
Total Number of Tetrahedrons	=	181146
Total Number of Prisms	=	22590
Total Number of Faces	=	15996

Reference Pressure Information

Domain Group: Default Domain

Pressure has not been set at any boundary conditions.
The pressure will be set to 0.00000E+00 at the following location:
Domain : Default Domain
Node : 1 (equation 1)
Coordinates : (1.00750E+01, 4.87500E+00, 3.57500E+00).

Average Scale Information

Domain Name : Default Domain

Global Length	=	5.5955E+00
Minimum Extent	=	3.5750E+00
Maximum Extent	=	1.0075E+01
Density	=	9.9700E+02

Dynamic Viscosity	= 8.8990E-04
Velocity	= 2.8835E-03
Advection Time	= 1.9405E+03
Reynolds Number	= 1.8076E+04

+-----+

| Checking for Isolated Fluid Regions |

+-----+

No isolated fluid regions were found.

+-----+

| The Equations Solved in This Calculation |

+-----+

Subsystem : Wall Scale

Wallscale

Subsystem : Momentum and Mass

U-Mom
V-Mom
W-Mom
P-Mass

Subsystem : TurbKE and TurbFreq

K-TurbKE
O-TurbFreq

CFD Solver started: Sun Jan 18 16:10:42 2015

+-----+

| Convergence History |

+-----+

Timescale Information		
Equation	Type	Timescale
U-Mom	Auto Timescale	5.82157E+02
V-Mom	Auto Timescale	5.82157E+02
W-Mom	Auto Timescale	5.82157E+02
K-TurbKE	Auto Timescale	5.82157E+02
O-TurbFreq	Auto Timescale	5.82157E+02

OUTER LOOP ITERATION = 1			CPU SECONDS = 1.669E+00		
Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Linear Solution	
Wallscale	0.00	2.0E-04	1.4E-03	40.2	1.7E-01 ok
U-Mom	0.00	7.3E-03	6.2E-02	1.1E-01	ok
V-Mom	0.00	2.4E-05	2.0E-03	8.7E+00	ok
W-Mom	0.00	3.2E-03	2.1E-02	1.4E-01	ok
P-Mass	0.00	3.1E-01	2.0E+00	12.7	5.1E-02 OK
K-TurbKE	0.00	8.5E-02	5.7E-01	5.5	2.0E-03 OK
O-TurbFreq	0.00	1.9E-01	1.0E+00	7.5	3.0E-03 OK

LAMPIRAN C

ANALISIS FFT

C_D untuk $Re = 10^3$ Bare silinder

0	time (s)	Cd	FFT Freq	FFT Mag	FFT complex
1	0.0000	0	0	0.0000000008	2.63241123612388E-08
2	1.0000	0.931283	1	1.8640000008	59.6480000263241
3	2.0000	0.932333	2	0.0000000008	2.63241352562922E-008
4	3.0000	0.932162	3	0.0000000008	2.63241462332306E-008
5	4.0000	0.931397	4	0.0000000008	2.63241645956785E-008
6	5.0000	0.932841	5	0.0000000008	2.63241899696225E-008
7	6.0000	0.931205	6	0.0000000008	2.63242224456754E-008
8	7.0000	0.932481	7	0.0000000008	2.63242614789716E-008
9	8.0000	0.931995	8	0.0000000008	2.63243066833341E-008
10	9.0000	0.931527	9	0.0000000008	2.63243577500034E-008
11	10.0000	0.932791	10	0.0000000008	2.63244128488279E-008
12	11.0000	0.931157	11	0.0000000008	2.63244737428524E-008
13	12.0000	0.932611	12	0.0000000008	2.63245383482369E-008
14	13.0000	0.931827	13	0.0000000008	2.63246069583922E-008
15	14.0000	0.931676	14	0.0000000008	2.6324678301064E-008
16	15.0000	0.932711	15	0.0000000008	2.63247516795093E-008
17	16.0000	0.931141	16	0.0000000008	2.63248262044877E-008
18	17.0000	0.932717	17	0.0000000008	2.63249031462465E-008
19	18.0000	0.931667	18	0.0000000008	2.63249772669539E-008
20	19.0000	0.931838	19	0.0000000008	2.63250522049521E-008
21	20.0000	0.932603	20	0.0000000008	2.63251253167297E-008
22	21.0000	0.931159	21	0.0000000008	2.63251966695655E-008
23	22.0000	0.932795	22	0.0000000008	2.63252648952626E-008
24	23.0000	0.931519	23	0.0000000008	2.63253298639851E-008
25	24.0000	0.932005	24	0.0000000008	2.63253904278263E-008
26	25.0000	0.932473	25	0.0000000008	2.63254467661327E-008
27	26.0000	0.931209	26	0.0000000008	2.6325497295927E-008
28	27.0000	0.932843	27	0.0008586761	-2.29387638231969E-002+1.5127244380841E-002i
29	28.0000	0.931389	28	0.0000000008	2.63255815667405E-008
30	29.0000	0.932173	29	0.0000000008	2.63256136583351E-008
31	30.0000	0.932324	30	0.0000000008	2.63256390424432E-008
32	31.0000	0.931289	31	0.0000000008	2.63256570493683E-008
33	32.0000	0.932859	32	0.0000000008	2.63256685281816E-008
34	33.0000	0.931283	33	0.0000000008	2.63256723087579E-008
35	34.0000	0.932333	34	0.0000000008	2.63256685281816E-008
36	35.0000	0.932162	35	0.0000000008	2.63256570476454E-008
37	36.0000	0.931397	36	0.0000000008	2.63256390424432E-008
38	37.0000	0.932841	37	0.0000000008	2.63256136583351E-008
39	38.0000	0.931205	38	0.0000000008	2.63255815667405E-008
40	39.0000	0.932481	39	0.0008586761	-2.2938763823197E-002-1.51272443808409E-002i
41	40.0000	0.931995	40	0.0000000008	2.6325497295927E-008
42	41.0000	0.931527	41	0.0000000008	2.63254467661327E-008
43	42.0000	0.932791	42	0.0000000008	2.63253904278263E-008
44	43.0000	0.931157	43	0.0000000008	2.63253298452067E-008
45	44.0000	0.932611	44	0.0000000008	2.63252648952626E-008
46	45.0000	0.931827	45	0.0000000008	2.63251966695655E-008
47	46.0000	0.931676	46	0.0000000008	2.63251253167297E-008
48	47.0000	0.932711	47	0.0000000008	2.63250521934933E-008
49	48.0000	0.931141	48	0.0000000008	2.63249772669539E-008
50	49.0000	0.932717	49	0.0000000008	2.63249031462465E-008
51	50.0000	0.931667	50	0.0000000008	2.63248262044877E-008
52	51.0000	0.931838	51	0.0000000008	2.6324751671208E-008
53	52.0000	0.932603	52	0.0000000008	2.6324678301064E-008
54	53.0000	0.931159	53	0.0000000008	2.63246069583922E-008
55	54.0000	0.932795	54	0.0000000008	2.63245383482369E-008
56	55.0000	0.931519	55	0.0000000008	2.63244737414212E-008
57	56.0000	0.932005	56	0.0000000008	2.63244128488279E-008
58	57.0000	0.932473	57	0.0000000008	2.63243577500034E-008
59	58.0000	0.931209	58	0.0000000008	2.63243066833341E-008
60	59.0000	0.932843	59	0.0000000008	2.6324261470298E-008
61	60.0000	0.931389	60	0.0000000008	2.63242224456754E-008
62	61.0000	0.932173	61	0.0000000008	2.63241899696225E-008
63	62.0000	0.932324	62	0.0000000008	2.63241645956785E-008
64	63.0000	0.931289	63	0.0000000008	2.63241462329305E-008
65	64.0000	0.932859	64	0.0000000008	2.63241352562922E-008

C_L untuk $Re = 10^3$ Bare silinder

0	time (s)	CL	FFT Freq	FFT Mag	FFT complex
1	0.0000	0.00E+00	0	0.0000003418	-1.09383494880699E-005
2	1.0000	-9.85E-02	1	0.3568018097	9.53164132118819-6.28575579431737i
3	2.0000	2.51E-01	2	0.0000003418	-1.09383494880699E-005
4	3.0000	3.30E-01	3	0.0000003418	-1.09383540889533E-005
5	4.0000	2.16E-03	4	0.0000003418	-1.09383617576706E-005
6	5.0000	-2.49E-01	5	0.0000003418	-1.09383722539276E-005-1.22494845507437E-010i
7	6.0000	-2.14E-01	6	0.0000003418	-1.09383857380205E-005-1.50914942475377E-010i
8	7.0000	1.35E-01	7	0.0000003418	-1.09384018482928E-005-1.77854175831271E-010i
9	8.0000	3.57E-01	8	0.0000003418	-1.09384205651132E-005-2.0304986600607E-010i
10	9.0000	1.39E-01	9	0.0000003418	-1.09384416997439E-005-2.26377887723634E-010i
11	10.0000	-2.51E-01	10	0.0000003418	-1.09384649201183E-005-2.47451113410423E-010i
12	11.0000	-2.50E-01	11	0.0000003418	-1.09384901603737E-005-2.66167009146263E-010i
13	12.0000	-2.16E-03	12	0.0000003418	-1.09385170922264E-005-2.82320011565124E-010i
14	13.0000	3.29E-01	13	0.0000003418	-1.09385454793339E-005-2.95751643377324E-010i
15	14.0000	2.54E-01	14	0.0000003418	-1.09385750402187E-005-3.06303759891294E-010i
16	15.0000	-1.35E-01	15	0.0000003418	-1.09386055498955E-005-3.13923780791912E-010i
17	16.0000	-2.77E-01	16	0.0000003418	-1.09386366378033E-005-3.18531419760688E-010i
18	17.0000	-1.39E-01	17	0.0000003418	-1.09386679911505E-005-3.20113344685902E-010i
19	18.0000	2.51E-01	18	0.0000003418	-1.09386993649081E-005-3.18575269562949E-010i
20	19.0000	3.30E-01	19	0.0000003418	-1.09387304272663E-005-3.13934395530336E-010i
21	20.0000	2.16E-03	20	0.0000003418	-1.09387609125863E-005-3.06319749146144E-010i
22	21.0000	-2.49E-01	21	0.0000003418	-1.09387905220193E-005-2.95705720039266E-010i
23	22.0000	-2.54E-01	22	0.0000003418	-1.09388188994528E-005-2.82271254159322E-010i
24	23.0000	1.35E-01	23	0.0000003418	-1.09388458821001E-005-2.66157381361111E-010i
25	24.0000	3.57E-01	24	0.0000003418	-1.09388711073993E-005-2.47496278543537E-010i
26	25.0000	1.39E-01	25	0.0000003418	-1.09388943356258E-005-2.26419299042452E-010i
27	26.0000	-2.51E-01	26	0.0000003418	-1.09389154087777E-005-2.03173979030068E-010i
28	27.0000	-2.50E-01	27	0.0000003418	-1.09389154087777E-005-2.03173979030068E-010i
29	28.0000	-2.16E-03	28	0.0000003418	-1.09389504038307E-005-1.50879485374559E-010i
30	29.0000	3.29E-01	29	0.0000003418	-1.09389638091302E-005-1.22500103450814E-010i
31	30.0000	2.54E-01	30	0.0000003418	-1.0938974395012E-005
32	31.0000	-1.35E-01	31	0.0000003418	-1.09389819654801E-005
33	32.0000	-2.77E-01	32	0.0000003418	-1.09389866152544E-005
34	33.0000	-1.39E-01	33	0.0000003418	-1.09389881091182E-005
35	34.0000	2.51E-01	34	0.0000003418	-1.09389866152544E-005
36	35.0000	3.30E-01	35	0.0000003418	-1.09389819651492E-005
37	36.0000	2.16E-03	36	0.0000003418	-1.0938974395012E-005
38	37.0000	-2.49E-01	37	0.0000003418	-1.09389638091302E-005+1.22500103450814E-010i
39	38.0000	-2.54E-01	38	0.0000003418	-1.09389504038307E-005+1.5087948537456E-010i
40	39.0000	1.35E-01	39	0.0000003418	-1.09389504038307E-005+1.5087948537456E-010i
41	40.0000	3.57E-01	40	0.0000003418	-1.09389154087777E-005+2.03173979030069E-010i
42	41.0000	1.39E-01	41	0.0000003418	-1.09388943356258E-005+2.26419299042452E-010i
43	42.0000	-2.51E-01	42	0.0000003418	-1.09388711073993E-005+2.47496278543537E-010i
44	43.0000	-2.50E-01	43	0.0000003418	-1.09388458748294E-005+2.66162124164954E-010i
45	44.0000	-2.16E-03	44	0.0000003418	-1.09388188994528E-005+2.82271254159322E-010i
46	45.0000	3.29E-01	45	0.0000003418	-1.09387905220193E-005+2.95705720039266E-010i
47	46.0000	2.54E-01	46	0.0000003418	-1.09387609125863E-005+3.06319749146144E-010i
48	47.0000	-1.35E-01	47	0.0000003418	-1.09387304231529E-005+3.13939913205521E-010i
49	48.0000	-2.77E-01	48	0.0000003418	-1.09386993649081E-005+3.18575269562949E-010i
50	49.0000	-1.39E-01	49	0.0000003418	-1.09386679911505E-005+3.20113344685902E-010i
51	50.0000	2.51E-01	50	0.0000003418	-1.09386366378033E-005+3.18531419760688E-010i
52	51.0000	3.30E-01	51	0.0000003418	-1.09386055472931E-005+3.13926288659448E-010i
53	52.0000	2.16E-03	52	0.0000003418	-1.09385750402187E-005+3.06303759891294E-010i
54	53.0000	-2.49E-01	53	0.0000003418	-1.09385454793339E-005+2.95751643377324E-010i
55	54.0000	-2.54E-01	54	0.0000003418	-1.09385170922264E-005+2.82320011565124E-010i
56	55.0000	1.35E-01	55	0.0000003418	-1.09384901575439E-005+2.66172480394246E-010i
57	56.0000	3.57E-01	56	0.0000003418	-1.09384649201183E-005+2.47451113410423E-010i
58	57.0000	1.39E-01	57	0.0000003418	-1.09384416997439E-005+2.26377887723633E-010i
59	58.0000	-2.51E-01	58	0.0000003418	-1.09384205651132E-005+2.03049866006069E-010i
60	59.0000	-2.50E-01	59	0.0000003418	-1.09384018411873E-005+1.77866166239937E-010i
61	60.0000	-2.16E-03	60	0.0000003418	-1.09383857380205E-005+1.50914942475376E-010i
62	61.0000	3.29E-01	61	0.0000003418	-1.09383722539276E-005+1.22494845507436E-010i
63	62.0000	2.54E-01	62	0.0000003418	-1.09383617576706E-005
64	63.0000	-1.35E-01	63	0.0000003418	-1.09383540892452E-005
65	64.0000	-2.77E-01	64	0.0000003418	-1.09383494880699E-005

C_D untuk $Re = 10^4$ Bare silinder

0	time (s)	Cd	FFT Freq	FFT Mag	FFT complex
1	0.0000	0.0000	0	2.47E-08	7.91593483943494E-07
2	1.0000	1.0466	1	2.096	67.0720007915964
3	2.0000	1.0471	2	2.47E-08	7.91597607084619E-007
4	3.0000	1.0504	3	2.47E-08	7.91601275448462E-007
5	4.0000	1.0463	4	2.47E-08	7.91607347574472E-007
6	5.0000	1.0475	5	2.47E-08	7.91615768703088E-007
7	6.0000	1.0502	6	2.47E-08	7.91626455378895E-007+1.20137971050538E-010i
8	7.0000	1.0460	7	2.47E-08	7.91639307653812E-007+1.41597263641503E-010i
9	8.0000	1.0480	8	2.47E-08	7.91654198292733E-007+1.61691158973606E-010i
10	9.0000	1.0500	9	2.47E-08	7.91670989044041E-007+1.80230217688566E-010i
11	10.0000	1.0457	10	2.47E-08	7.91689513813698E-007+1.97038866212052E-010i
12	11.0000	1.0485	11	2.47E-08	7.91709598633311E-007+2.11949555128932E-010i
13	12.0000	1.0497	12	2.47E-08	7.9173104925085E-007+2.24822514427145E-010i
14	13.0000	1.0456	13	2.47E-08	7.91753659562039E-007+2.35532271056741E-010i
15	14.0000	1.0490	14	2.47E-08	7.91777210268963E-007+2.4397507175216E-010i
16	15.0000	1.0493	15	2.47E-08	7.91801477835442E-007+2.50069616953322E-010i
17	16.0000	1.0456	16	2.47E-08	7.91826226846255E-007+2.53757540224864E-010i
18	17.0000	1.0494	17	2.47E-08	7.91851217485373E-007+2.54999577009585E-010i
19	18.0000	1.0489	18	2.47E-08	7.91876214886938E-007+2.5378924101936E-010i
20	19.0000	1.0456	19	2.47E-08	7.91900973683336E-007+2.50132104927481E-010i
21	20.0000	1.0497	20	2.47E-08	7.91925255400139E-007+2.44065447119649E-010i
22	21.0000	1.0485	21	2.47E-08	7.91948826827445E-007+2.356478298617E-010i
23	22.0000	1.0458	22	2.47E-08	7.91971461877983E-007+2.24957461346711E-010i
24	23.0000	1.0500	23	0.002438	-4.38520627008272E-002+6.45277207740391E-002i
25	24.0000	1.0480	24	2.48E-08	7.9201305510153E-007+1.97198637218391E-010i
26	25.0000	1.0460	25	2.48E-08	7.92031612904248E-007+1.80393642517791E-010i
27	26.0000	1.0503	26	2.48E-08	7.92048434912262E-007+1.61850041801525E-010i
28	27.0000	1.0475	27	2.48E-08	7.92063356346411E-007+1.41745367823445E-010i
29	28.0000	1.0463	28	2.48E-08	7.92076235612494E-007+1.20273806148524E-010i
30	29.0000	1.0504	29	2.48E-08	7.92086948804006E-007
31	30.0000	1.0470	30	2.48E-08	7.92095388876647E-007
32	31.0000	1.0467	31	2.48E-08	7.92101478047889E-007
33	32.0000	1.0504	32	2.48E-08	7.92105153302409E-007
34	33.0000	1.0466	33	2.48E-08	7.92106376934498E-007
35	34.0000	1.0471	34	2.48E-08	7.92105153302409E-007
36	35.0000	1.0504	35	2.48E-08	7.92101478066576E-007
37	36.0000	1.0463	36	2.48E-08	7.92095388876647E-007
38	37.0000	1.0475	37	2.48E-08	7.92086948804006E-007
39	38.0000	1.0502	38	2.48E-08	7.92076235612494E-007-1.20273806148524E-010i
40	39.0000	1.0460	39	2.48E-08	7.92063356342067E-007-1.41745339637412E-010i
41	40.0000	1.0480	40	2.48E-08	7.92048434912262E-007-1.61850041801525E-010i
42	41.0000	1.0500	41	2.48E-08	7.92031612904248E-007-1.80393642517791E-010i
43	42.0000	1.0457	42	2.48E-08	7.9201305510153E-007-1.97198637218391E-010i
44	43.0000	1.0485	43	0.002438	-4.38520627008274E-002-6.4527720774039E-002i
45	44.0000	1.0497	44	2.47E-08	7.91971461877983E-007-2.24957461346711E-010i
46	45.0000	1.0456	45	2.47E-08	7.91948826827445E-007-2.356478298617E-010i
47	46.0000	1.0490	46	2.47E-08	7.91925255400139E-007-2.44065447119649E-010i
48	47.0000	1.0493	47	2.47E-08	7.9190097364836E-007-2.50132141941854E-010i
49	48.0000	1.0456	48	2.47E-08	7.91876214886938E-007-2.5378924101936E-010i
50	49.0000	1.0494	49	2.47E-08	7.91851217485373E-007-2.54999577009585E-010i
51	50.0000	1.0489	50	2.47E-08	7.91826226846255E-007-2.53757540224864E-010i
52	51.0000	1.0456	51	2.47E-08	7.91801477818836E-007-2.50069660275202E-010i
53	52.0000	1.0497	52	2.47E-08	7.91777210268963E-007-2.4397507175216E-010i
54	53.0000	1.0485	53	2.47E-08	7.91753659562039E-007-2.35532271056741E-010i
55	54.0000	1.0458	54	2.47E-08	7.9173104925085E-007-2.24822514427145E-010i
56	55.0000	1.0500	55	2.47E-08	7.91709598567392E-007-2.11949617578977E-010i
57	56.0000	1.0480	56	2.47E-08	7.91689513813698E-007-1.97038866212052E-010i
58	57.0000	1.0460	57	2.47E-08	7.91670989044041E-007-1.80230217688566E-010i
59	58.0000	1.0503	58	2.47E-08	7.91654198292733E-007-1.61691158973606E-010i
60	59.0000	1.0475	59	2.47E-08	7.91639307652937E-007-1.41597305705323E-010i
61	60.0000	1.0463	60	2.47E-08	7.91626455378895E-007-1.20137971050538E-010i
62	61.0000	1.0504	61	2.47E-08	7.91615768703088E-007
63	62.0000	1.0470	62	2.47E-08	7.91607347574472E-007
64	63.0000	1.0467	63	2.47E-08	7.91601275443885E-007
65	64.0000	1.0504	64	2.47E-08	7.91597607084619E-007

C_L untuk $Re = 10^4$ Bare silinder

0	time (s)	CL	FFT Freq	FFT Mag	FFT complex
1	0.0000	0.0000	0	0.000406	1.24407262140486E-002-3.77370080311554E-003i
2	1.0000	1.8013	1	4.284683	51.4067148981125+127.108081305195i
3	2.0000	3.4194	2	0.000406	1.24407262140486E-002-3.77370080311554E-003i
4	3.0000	-3.1184	3	0.000406	1.08096068100721E-002-7.22241303013068E-003i
5	4.0000	-0.0247	4	0.000406	8.24761454324884E-003-1.00491358945154E-002i
6	5.0000	4.4473	5	0.000493	8.24761459245384E-003-1.34343495045154E-002i
7	6.0000	-3.3661	6	0.000406	1.27472467403084E-003-1.29374014473361E-002i
8	7.0000	-1.8710	7	0.000406	-2.53567233542831E-003-1.27502086459142E-002i
9	8.0000	4.7981	8	0.000406	-6.12765572812051E-003-1.14649764383711E-002i
10	9.0000	-1.8013	9	0.02295	-0.573771278376811-0.458422594463759i
11	10.0000	-3.4194	10	0.000406	-1.14644745870279E-002-6.12815757872748E-003i
12	11.0000	4.4184	11	0.000406	-1.27497067947881E-002-2.53617418542105E-003i
13	12.0000	0.0377	12	0.000406	-1.29368995952203E-002+1.27422282440963E-003i
14	13.0000	-3.1184	13	0.09364	-1.11786710920493-2.78014969622458i
15	14.0000	3.3661	14	0.000406	-1.00486340441384E-002+8.24711269496983E-003i
16	15.0000	1.8710	15	0.000406	-7.22191117907793E-003+1.08091049606963E-002i
17	16.0000	-3.1184	16	0.000406	-3.77319895549734E-003+1.24402243657168E-002i
18	17.0000	1.8013	17	0.210393	0.115349687613759+6.73160307394561i
19	18.0000	3.4194	18	0.000406	3.77420265606491E-003+1.24402243658651E-002i
20	19.0000	-3.1184	19	0.000406	7.22291487936104E-003+1.08091049597823E-002i
21	20.0000	-0.0377	20	0.000406	1.00496377425844E-002+8.24711269426645E-003i
22	21.0000	4.4473	21	0.000406	1.00496377425844E-002+8.24711269426645E-003i
23	22.0000	-3.3661	22	0.000406	1.29379032945899E-002+1.27422282388013E-003i
24	23.0000	-1.8710	23	0.000406	1.27507104945572E-002-2.53617418600674E-003i
25	24.0000	4.7981	24	0.000406	1.14654782857979E-002-6.12815757928023E-003i
26	25.0000	-1.8013	25	0.000406	1.14654782857979E-002-6.12815757928023E-003i
27	26.0000	-3.4194	26	0.000406	6.12865942861942E-003-1.14649764373578E-002i
28	27.0000	4.4184	27	0.000406	2.53667603643827E-003-1.27502086465835E-002i
29	28.0000	0.0377	28	0.000406	-1.27372097497362E-003-1.29374014487774E-002i
30	29.0000	-3.1184	29	0.084288	-2.53519898768591+0.920693727518877i
31	30.0000	3.3661	30	0.000406	-8.2466108431559E-003-1.00491358930151E-002i
32	31.0000	1.8710	31	0.000406	-1.08086031086918E-002-7.22241303007675E-003i
33	32.0000	-3.1184	32	0.000406	-1.24397225140554E-002-3.77370080442116E-003i
34	33.0000	1.8013	33	0.000406	-1.24397225140554E-002-3.77370080442116E-003i
35	34.0000	3.4194	34	0.000406	-1.24397225140554E-002+3.7737008044212E-003i
36	35.0000	-3.1184	35	0.000406	-1.08086031086918E-002+7.22241303007679E-003i
37	36.0000	-0.0377	36	0.000406	-8.24661084315587E-003+1.00491358930151E-002i
38	37.0000	4.4473	37	0.084288	-2.53519898768592-0.920693727518924i
39	38.0000	-3.3661	38	0.000406	-1.27372097497358E-003+1.29374014487774E-002i
40	39.0000	-1.8710	39	0.000406	2.53667603643831E-003+1.27502086465835E-002i
41	40.0000	4.7981	40	0.000406	6.12865942861946E-003+1.14649764373578E-002i
42	41.0000	-1.8013	41	0.441916	-10.0569260894473-9.9415774053262i
43	42.0000	-3.4194	42	0.000406	1.14654782857979E-002+6.12815757928019E-003i
44	43.0000	4.4184	43	0.000406	1.27507104945573E-002+2.5361741860067E-003i
45	44.0000	0.0377	44	0.000406	1.29379032945899E-002-1.27422282388017E-003i
46	45.0000	-3.1184	45	0.000406	1.29379032945899E-002-1.27422282388017E-003i
47	46.0000	3.3661	46	0.000406	1.00496377425844E-002-8.24711269426648E-003i
48	47.0000	1.8710	47	0.000406	7.222914879361E-003-1.08091049597823E-002i
49	48.0000	-3.1184	48	0.000406	3.77420265606487E-003-1.24402243658651E-002i
50	49.0000	1.8013	49	0.210393	0.115349687613745-6.73160307394561i
51	50.0000	3.4194	50	0.000406	-3.77319895549738E-003-1.24402243657168E-002i
52	51.0000	-3.1184	51	0.000406	-7.22191117907797E-003-1.08091049606963E-002i
53	52.0000	-0.0377	52	0.000406	-1.00486340441385E-002-8.2471126949698E-003i
54	53.0000	4.4473	53	0.09364	-1.11786710920482+2.78014969622471i
55	54.0000	-3.3661	54	0.000406	-1.29368995952203E-002-1.27422282440959E-003i
56	55.0000	-1.8710	55	0.000406	-1.27497067947881E-002+2.53617418542109E-003i
57	56.0000	4.7981	56	0.000406	-1.14644745870279E-002+6.12815757872751E-003i
58	57.0000	-1.8013	57	0.02295	-0.57377127837682+0.458422594463744i
59	58.0000	-3.4194	58	0.000406	-6.12765572812047E-003+1.14649764383711E-002i
60	59.0000	4.4184	59	0.000406	-2.53567233542828E-003+1.27502086459142E-002i
61	60.0000	0.0377	60	0.000406	1.27472467403088E-003+1.29374014473361E-002i
62	61.0000	-3.1184	61	0.335721	9.88911051573-4.19748157470806i
63	62.0000	3.3661	62	0.000406	8.24761454324887E-003+1.00491358945154E-002i
64	63.0000	1.8710	63	0.000406	1.08096068100721E-002+7.22241303013065E-003i
65	64.0000	-3.1184	64	0.000406	1.24407262140486E-002+3.7737008031155E-003i

C_D untuk $Re = 10^5$ Bare silinder

0	time (s)	Cd	FFT Freq	FFT Mag	FFT complex
1	0.0000	0.00E+00	0	1.41E-07	4.50983234239493E-006+4.98811538472334E-010i
2	1.0000	1.06E+00	1	2.128	68.0960045098064
3	2.0000	1.06E+00	2	1.41E-07	4.50983084706573E-006+4.98811551752061E-010i
4	3.0000	1.07E+00	3	1.41E-07	4.50990396429143E-006+9.92852487423463E-010i
5	4.0000	1.07E+00	4	1.41E-07	4.51002505059689E-006+1.47739524827706E-009i
6	5.0000	1.06E+00	5	1.41E-07	4.51019296278897E-006+1.94780080876563E-009i
7	6.0000	1.06E+00	6	1.41E-07	4.51040610162606E-006+2.39956297303714E-009i
8	7.0000	1.07E+00	7	1.41E-07	4.51066243360909E-006+2.82835327198879E-009i
9	8.0000	1.06E+00	8	1.41E-07	4.51095952644438E-006+3.23006146776705E-009i
10	9.0000	1.06E+00	9	1.41E-07	4.51129454453073E-006+3.6008208742928E-009i
11	10.0000	1.07E+00	10	1.41E-07	4.51166429409742E-006+3.93706919400398E-009i
12	11.0000	1.07E+00	11	1.41E-07	4.51206524898182E-006+4.23556296674652E-009i
13	12.0000	1.06E+00	12	1.41E-07	4.51249357873256E-006+4.49341922535939E-009i
14	13.0000	1.06E+00	13	1.41E-07	4.51294518437022E-006+4.70813790780103E-009i
15	14.0000	1.07E+00	14	1.41E-07	4.51341574434218E-006+4.87763308339661E-009i
16	15.0000	1.06E+00	15	1.41E-07	4.51390074690701E-006+5.0002466750465E-009i
17	16.0000	1.06E+00	16	1.41E-07	4.5143955355811E-006+5.07476881968582E-009i
18	17.0000	1.06E+00	17	1.41E-07	4.51489535535643E-006+5.10044984025626E-009i
19	18.0000	1.07E+00	18	1.41E-07	4.51539539540096E-006+5.07701678389668E-009i
20	19.0000	1.06E+00	19	0.00399	-2.60741946660961E-002+0.124978316050819i
21	20.0000	1.06E+00	20	1.41E-07	4.51637690519139E-006+4.88401946091415E-009i
22	21.0000	1.07E+00	21	1.41E-07	4.51684889266209E-006+4.71626921038017E-009i
23	22.0000	1.07E+00	22	1.41E-07	4.51730224402589E-006+4.50298103547506E-009i
24	23.0000	1.06E+00	23	1.41E-07	4.51773256186364E-006+4.24618832294428E-009i
25	24.0000	1.06E+00	24	1.41E-07	4.51813567539299E-006+3.94835023149583E-009i
26	25.0000	1.07E+00	25	1.41E-07	4.51850766986902E-006+3.61232456118475E-009i
27	26.0000	1.06E+00	26	1.41E-07	4.51884493129676E-006+3.24134079094019E-009i
28	27.0000	1.06E+00	27	1.41E-07	4.51914418216034E-006+2.8389795042537E-009i
29	28.0000	1.07E+00	28	1.41E-07	4.51940250516795E-006+2.40912689567878E-009i
30	29.0000	1.07E+00	29	1.41E-07	4.51961738542551E-006+1.95593566405844E-009i
31	30.0000	1.06E+00	30	1.41E-07	4.51978672613973E-006+1.48378551467741E-009i
32	31.0000	1.06E+00	31	1.41E-07	4.51990887839296E-006+9.9725468716441E-010i
33	32.0000	1.07E+00	32	1.41E-07	4.51998265054332E-006+5.01056025287371E-010i
34	33.0000	1.06E+00	33	1.41E-07	4.52000732309443E-006
35	34.0000	1.06E+00	34	1.41E-07	4.51998265054332E-006-5.01056025287381E-010i
36	35.0000	1.07E+00	35	1.41E-07	4.51990887835487E-006-9.97254639677298E-010i
37	36.0000	1.07E+00	36	1.41E-07	4.51978672613973E-006-1.48378551467742E-009i
38	37.0000	1.06E+00	37	1.41E-07	4.51961738542551E-006-1.95593566405845E-009i
39	38.0000	1.06E+00	38	1.41E-07	4.51940250516795E-006-2.40912689567879E-009i
40	39.0000	1.07E+00	39	1.41E-07	4.51914418218047E-006-2.83897944245389E-009i
41	40.0000	1.06E+00	40	1.41E-07	4.51884493129676E-006-3.2413407909402E-009i
42	41.0000	1.06E+00	41	1.41E-07	4.51850766986902E-006-3.61232456118476E-009i
43	42.0000	1.07E+00	42	1.41E-07	4.51813567539299E-006-3.94835023149583E-009i
44	43.0000	1.07E+00	43	1.41E-07	4.5177325618611E-006-4.246188263146E-009i
45	44.0000	1.06E+00	44	1.41E-07	4.51730224402589E-006-4.50298103547507E-009i
46	45.0000	1.06E+00	45	1.41E-07	4.51684889266209E-006-4.71626921038017E-009i
47	46.0000	1.07E+00	46	1.41E-07	4.51637690519139E-006-4.88401946091416E-009i
48	47.0000	1.06E+00	47	0.00399	-2.60741946660965E-002-0.124978316050819i
49	48.0000	1.06E+00	48	1.41E-07	4.51539539540096E-006-5.07701678389668E-009i
50	49.0000	1.06E+00	49	1.41E-07	4.51489535535643E-006-5.10044984025626E-009i
51	50.0000	1.07E+00	50	1.41E-07	4.5143955355811E-006-5.07476881968582E-009i
52	51.0000	1.06E+00	51	1.41E-07	4.51390074678905E-006-5.00024676525213E-009i
53	52.0000	1.06E+00	52	1.41E-07	4.51341574434218E-006-4.87763308339661E-009i
54	53.0000	1.07E+00	53	1.41E-07	4.51294518437022E-006-4.70813790780103E-009i
55	54.0000	1.07E+00	54	1.41E-07	4.51249357873256E-006-4.49341922535938E-009i
56	55.0000	1.06E+00	55	1.41E-07	4.51206524898484E-006-4.23556303371871E-009i
57	56.0000	1.06E+00	56	1.41E-07	4.51166429409742E-006-3.93706919400397E-009i
58	57.0000	1.07E+00	57	1.41E-07	4.51129454453073E-006-3.6008208742928E-009i
59	58.0000	1.06E+00	58	1.41E-07	4.51095952644438E-006-3.23006146776704E-009i
60	59.0000	1.06E+00	59	1.41E-07	4.51066243359315E-006-2.82835330579801E-009i
61	60.0000	1.07E+00	60	1.41E-07	4.51040610162606E-006-2.39956297303713E-009i
62	61.0000	1.07E+00	61	1.41E-07	4.51019296278897E-006-1.94780080876562E-009i
63	62.0000	1.06E+00	62	1.41E-07	4.51002505059689E-006-1.47739524827705E-009i
64	63.0000	1.06E+00	63	1.41E-07	4.50990396431579E-006-9.9285248788362E-010i
65	64.0000	1.07E+00	64	1.41E-07	4.50983084706573E-006-4.98811551752051E-010i

C_L untuk Re = 10⁵ Bare silinder

0	time (s)	CL	FFT Freq	FFT Mag	FFT complex
1	0.0000	0.00E+00	0	7.58E-07	2.42570146041394E-005
2	1.0000	7.87E+00	1	4.000001	128.000024259387
3	2.0000	-3.87E+00	2	7.58E-07	2.42570146041394E-005
4	3.0000	7.87E+00	3	7.58E-07	2.42570483123379E-005+1.03326963013138E-010i
5	4.0000	-3.87E+00	4	7.58E-07	2.42570971169439E-005+1.31789302737743E-010i
6	5.0000	7.87E+00	5	7.58E-07	2.42571516443313E-005+1.37672259504503E-010i
7	6.0000	-3.87E+00	6	7.58E-07	2.42572019343208E-005+1.21420321479104E-010i
8	7.0000	7.87E+00	7	7.58E-07	2.42572392674544E-005
9	8.0000	-3.87E+00	8	7.58E-07	2.42572581188675E-005
10	9.0000	7.87E+00	9	7.58E-07	2.42572569757053E-005
11	10.0000	-3.87E+00	10	7.58E-07	2.42572389675951E-005
12	11.0000	7.87E+00	11	7.58E-07	2.42572102287079E-005
13	12.0000	-3.87E+00	12	7.58E-07	2.42571785683896E-005
14	13.0000	7.87E+00	13	7.58E-07	2.42571516539713E-005
15	14.0000	-3.87E+00	14	7.58E-07	2.42571351293045E-005
16	15.0000	7.87E+00	15	7.58E-07	2.42571310385549E-005
17	16.0000	-3.87E+00	16	7.58E-07	2.42571381478966E-005
18	17.0000	7.87E+00	17	7.58E-07	2.42571516935186E-005
19	18.0000	-3.87E+00	18	7.58E-07	2.42571651525813E-005
20	19.0000	7.87E+00	19	7.58E-07	2.425717218028E-005
21	20.0000	-3.87E+00	20	7.58E-07	2.42571682732272E-005
22	21.0000	7.87E+00	21	7.58E-07	2.42571516900763E-005
23	22.0000	-3.87E+00	22	7.58E-07	2.42571248355273E-005
24	23.0000	7.87E+00	23	7.58E-07	2.42570931671455E-005
25	24.0000	-3.87E+00	24	7.58E-07	2.42570642963563E-005
26	25.0000	7.87E+00	25	7.58E-07	2.42570462265908E-005
27	26.0000	-3.87E+00	26	7.58E-07	2.42570452572373E-005
28	27.0000	7.87E+00	27	7.58E-07	2.42570640227063E-005
29	28.0000	-3.87E+00	28	7.58E-07	2.42571013288736E-005+1.21413480294915E-010i
30	29.0000	7.87E+00	29	7.58E-07	2.42571516293761E-005+1.3768144606335E-010i
31	30.0000	-3.87E+00	30	7.58E-07	2.42572062506092E-005+1.31712989883754E-010i
32	31.0000	7.87E+00	31	7.58E-07	2.42572550041123E-005+1.03375593492815E-010i
33	32.0000	-3.87E+00	32	7.58E-07	2.4257288631259E-005
34	33.0000	7.87E+00	33	7.58E-08	2.4257288631259E-006
35	34.0000	-3.87E+00	34	7.58E-07	2.4257288631259E-005
36	35.0000	7.87E+00	35	7.58E-07	2.42572550041123E-005-1.03375593492815E-010i
37	36.0000	-3.87E+00	36	7.58E-07	2.42572062506092E-005-1.31712989883754E-010i
38	37.0000	7.87E+00	37	7.58E-07	2.42571516293761E-005-1.3768144606335E-010i
39	38.0000	-3.87E+00	38	7.58E-07	2.42571013288736E-005-1.21413480294915E-010i
40	39.0000	7.87E+00	39	7.58E-07	2.42570640227063E-005
41	40.0000	-3.87E+00	40	7.58E-07	2.42570452572373E-005
42	41.0000	7.87E+00	41	7.58E-07	2.42570462265908E-005
43	42.0000	-3.87E+00	42	7.58E-07	2.42570642963563E-005
44	43.0000	7.87E+00	43	7.58E-07	2.42570931671455E-005
45	44.0000	-3.87E+00	44	7.58E-07	2.42571248355273E-005
46	45.0000	7.87E+00	45	7.58E-07	2.42571516900763E-005
47	46.0000	-3.87E+00	46	7.58E-07	2.42571682732272E-005
48	47.0000	7.87E+00	47	7.58E-07	2.425717218028E-005
49	48.0000	-3.87E+00	48	7.58E-07	2.42571651525813E-005
50	49.0000	7.87E+00	49	7.58E-07	2.42571516935186E-005
51	50.0000	-3.87E+00	50	7.58E-07	2.42571381478966E-005
52	51.0000	7.87E+00	51	7.58E-07	2.42571310385549E-005
53	52.0000	-3.87E+00	52	7.58E-07	2.42571351293045E-005
54	53.0000	7.87E+00	53	7.58E-07	2.42571516539713E-005
55	54.0000	-3.87E+00	54	7.58E-07	2.42571785683896E-005
56	55.0000	7.87E+00	55	7.58E-07	2.42572102287079E-005
57	56.0000	-3.87E+00	56	7.58E-07	2.42572389675951E-005
58	57.0000	7.87E+00	57	7.58E-07	2.42572569757053E-005
59	58.0000	-3.87E+00	58	7.58E-07	2.42572581188675E-005
60	59.0000	7.87E+00	59	7.58E-07	2.42572392674544E-005
61	60.0000	-3.87E+00	60	7.58E-07	2.42572019343208E-005-1.21420321479104E-010i
62	61.0000	7.87E+00	61	7.58E-07	2.42571516443313E-005-1.37672259504503E-010i
63	62.0000	-3.87E+00	62	7.58E-07	2.42570971169439E-005-1.31789302737742E-010i
64	63.0000	7.87E+00	63	7.58E-07	2.42570483123379E-005-1.03326963013137E-010i
65	64.0000	-3.87E+00	64	7.58E-07	2.42570146041394E-005

C_D untuk $Re = 10^3$ Helical rods

0	time (s)	Cd	FFT Freq	FFT Mag	FFT complex
1	0.0000	0	0	0.0000000001	-2.73458737123372E-09
2	1.0000	9.50E-01	1	1.8999999999	60.7999999972654
3	2.0000	9.50E-01	2	0.0000000001	-2.73458738673372E-009
4	3.0000	9.50E-01	3	0.0000000001	-2.73458840126213E-009
5	4.0000	9.50E-01	4	0.0000000001	-2.73459044808554E-009
6	5.0000	9.50E-01	5	0.0000000001	-2.73459286401063E-009
7	6.0000	9.50E-01	6	0.0000000001	-2.73459645314316E-009
8	7.0000	9.50E-01	7	0.0000000001	-2.73460043867003E-009
9	8.0000	9.50E-01	8	0.0000000001	-2.73460517113557E-009
10	9.0000	9.50E-01	9	0.0000000001	-2.7346101919698E-009
11	10.0000	9.50E-01	10	0.0000000001	-2.73461626703521E-009
12	11.0000	9.50E-01	11	0.0000000001	-2.73462268864297E-009
13	12.0000	9.50E-01	12	0.0000000001	-2.73462931443288E-009
14	13.0000	9.50E-01	13	0.0000000001	-2.73463612509336E-009
15	14.0000	9.50E-01	14	0.0000000001	-2.73464381192442E-009
16	15.0000	9.50E-01	15	0.0000000001	-2.73465117239722E-009
17	16.0000	9.50E-01	16	0.0000000001	-2.73465920237934E-009
18	17.0000	9.50E-01	17	0.0000000001	-2.7346658271199E-009
19	18.0000	9.50E-01	18	0.0000000001	-2.73467489435111E-009
20	19.0000	9.50E-01	19	0.0000000001	-2.7346823837879E-009
21	20.0000	9.50E-01	20	0.0000000001	-2.73469028480603E-009
22	21.0000	9.50E-01	21	0.0000000001	-2.73469730550328E-009
23	22.0000	9.50E-01	22	0.0000000001	-2.73470478229756E-009
24	23.0000	9.50E-01	23	0.0000000001	-2.73471093344586E-009
25	24.0000	9.50E-01	24	0.0000000001	-2.73471782969524E-009
26	25.0000	9.50E-01	25	0.0000000001	-2.73472323862683E-009
27	26.0000	9.50E-01	26	0.0000000001	-2.73472892559488E-009
28	27.0000	9.50E-01	27	0.0000892005	2.38291033029716E-003+1.57143894857862E-003i
29	28.0000	9.50E-01	28	0.0000000001	-2.73473764358729E-009
30	29.0000	9.50E-01	29	0.0000000001	-2.734740566586E-009
31	30.0000	9.50E-01	30	0.0000000001	-2.73474364864491E-009
32	31.0000	9.50E-01	31	0.0000000001	-2.73474606618891E-009
33	32.0000	9.50E-01	32	0.0000000001	-2.73474670999673E-009
34	33.0000	9.50E-01	33	0.0000000001	-2.73474398682083E-009
35	34.0000	9.50E-01	34	0.0000000001	-2.73474670999673E-009
36	35.0000	9.50E-01	35	0.0000000001	-2.73474606607759E-009
37	36.0000	9.50E-01	36	0.0000000001	-2.73474364864491E-009
38	37.0000	9.50E-01	37	0.0000000001	-2.734740566586E-009
39	38.0000	9.50E-01	38	0.0000000001	-2.73473764358729E-009
40	39.0000	9.50E-01	39	0.0000892005	2.38291033029716E-003+1.57143894857862E-003i
41	40.0000	9.50E-01	40	0.0000000001	-2.73472892559488E-009
42	41.0000	9.50E-01	41	0.0000000001	-2.73472323862683E-009
43	42.0000	9.50E-01	42	0.0000000001	-2.73471782969524E-009
44	43.0000	9.50E-01	43	0.0000000001	-2.73471093125537E-009
45	44.0000	9.50E-01	44	0.0000000001	-2.73470478229756E-009
46	45.0000	9.50E-01	45	0.0000000001	-2.73469730550328E-009
47	46.0000	9.50E-01	46	0.0000000001	-2.73469028480603E-009
48	47.0000	9.50E-01	47	0.0000000001	-2.73468238274313E-009
49	48.0000	9.50E-01	48	0.0000000001	-2.73467489435111E-009
50	49.0000	9.50E-01	49	0.0000000001	-2.7346658271199E-009
51	50.0000	9.50E-01	50	0.0000000001	-2.73465920237934E-009
52	51.0000	9.50E-01	51	0.0000000001	-2.73465117167986E-009
53	52.0000	9.50E-01	52	0.0000000001	-2.73464381192442E-009
54	53.0000	9.50E-01	53	0.0000000001	-2.73463612509336E-009
55	54.0000	9.50E-01	54	0.0000000001	-2.73462931443288E-009
56	55.0000	9.50E-01	55	0.0000000001	-2.7346226881872E-009
57	56.0000	9.50E-01	56	0.0000000001	-2.73461626703521E-009
58	57.0000	9.50E-01	57	0.0000000001	-2.7346101919698E-009
59	58.0000	9.50E-01	58	0.0000000001	-2.73460517113557E-009
60	59.0000	9.50E-01	59	0.0000000001	-2.73460043758583E-009
61	60.0000	9.50E-01	60	0.0000000001	-2.73459645314316E-009
62	61.0000	9.50E-01	61	0.0000000001	-2.73459286401063E-009
63	62.0000	9.50E-01	62	0.0000000001	-2.73459044808554E-009
64	63.0000	9.50E-01	63	0.0000000001	-2.73458840126137E-009
65	64.0000	9.50E-01	64	0.0000000001	-2.73458738673372E-009

C_L untuk Re = 10³ Helical rods

0	time (s)	CL	FFT Freq	FFT Mag	FFT complex
1	0.0000	0.00E+00	0	0.0009278131	1.57704129348151E-002+2.51553423648288E-002i
2	1.0000	-1.73E-01	1	0.3908304514	-4.86044156405211+11.5234765640369i
3	2.0000	3.13E-01	2	0.0026199242	6.19575348380339E-002-5.64801080240225E-002i
4	3.0000	4.13E-01	3	0.0025109138	7.41739423249701E-003-8.00061429175201E-002i
5	4.0000	2.70E-03	4	0.0023293266	-4.49354572861727E-002-5.9470880187292E-002i
6	5.0000	-2.76E-01	5	0.0024083033	6.47355029511951E-002+4.18143231236379E-002i
7	6.0000	-2.67E-01	6	0.0017534053	-4.74245046450901E-002+2.99855455661595E-002i
8	7.0000	1.68E-01	7	0.0013669650	-1.06541502511933E-002+4.24255662321584E-002i
9	8.0000	4.46E-01	8	0.0009278131	1.57704129348151E-002+2.51553423648288E-002i
10	9.0000	1.73E-01	9	0.0074424325	-0.160735930887955-0.175735931288039i
11	10.0000	-2.63E-01	10	0.0002955388	-5.55689749131849E-003-7.65247103244422E-003i
12	11.0000	-2.63E-01	11	0.0007418010	-2.12123623963443E-002+1.06541506514218E-002i
13	12.0000	-2.70E-03	12	0.0012704952	-1.03871006926736E-002+3.93065635433809E-002i
14	13.0000	4.11E-01	13	0.0012704952	-1.03871006926736E-002+3.93065635433809E-002i
15	14.0000	3.17E-01	14	0.0022556814	6.75888220894973E-002+2.53370132131382E-002i
16	15.0000	-1.68E-01	15	0.0026554584	8.00061433175864E-002-2.86305972680963E-002i
17	16.0000	-2.96E-01	16	0.0029630335	4.83621669219787E-002-8.15559789111355E-002i
18	17.0000	-1.73E-01	17	0.0156320297	-1.49999995998309E-002+0.500000000000005i
19	18.0000	3.13E-01	18	0.0032323013	-7.60785520970959E-002-7.00754759400711E-002i
20	19.0000	4.13E-01	19	0.0031715862	-0.101219345952963-7.41739383241511E-003i
21	20.0000	2.70E-03	20	0.0029755877	-7.90693242602925E-002+5.30533991886403E-002i
22	21.0000	-2.61E-01	21	0.0132539192	0.167594204685542-0.389608200961369i
23	22.0000	-3.17E-01	22	0.0022031290	2.18676044640461E-002+6.70229495183931E-002i
24	23.0000	1.68E-01	23	0.0016581525	4.24255666321809E-002+3.18673540869689E-002i
25	24.0000	4.46E-01	24	0.0010466489	3.32732842670311E-002+3.8280319383659E-003i
26	25.0000	1.73E-01	25	0.0449362704	-1.00926406831178+1.02426406871198i
27	26.0000	-3.13E-01	26	0.0005674328	1.19459738407946E-002+1.36748393937134E-002i
28	27.0000	-2.63E-01	27	0.0011963048	3.18673544869966E-002+2.12123627965021E-002i
29	28.0000	-2.70E-03	28	0.0018421468	5.89050084164853E-002+2.26915959058063E-003i
30	29.0000	4.11E-01	29	0.0307145904	-0.913263639574717+0.363286185699677i
31	30.0000	3.17E-01	30	0.0029182972	3.34549551157552E-002-8.71872661626266E-002i
32	31.0000	-1.68E-01	31	0.0032872070	-2.86305968677771E-002-0.101219346353077i
33	32.0000	-2.96E-01	32	0.0035161537	-8.96739200130808E-002-6.79606109948709E-002i
34	33.0000	-1.73E-01	33	0.0151562500	0.485000000400147
35	34.0000	3.13E-01	34	0.0035161537	-8.96739200130806E-002+6.79606109948711E-002i
36	35.0000	4.13E-01	35	0.0032872070	-2.86305968677767E-002+0.101219346353077i
37	36.0000	2.70E-03	36	0.0029182972	3.34549551157555E-002+8.71872661626264E-002i
38	37.0000	-2.61E-01	37	0.0307145904	-0.913263639574718-0.363286185699681i
39	38.0000	-3.17E-01	38	0.0018421468	5.89050084164853E-002-2.26915959058083E-003i
40	39.0000	1.68E-01	39	0.0011963048	3.18673544869965E-002-2.12123627965022E-002i
41	40.0000	4.46E-01	40	0.0005674328	1.19459738407945E-002-1.36748393937134E-002i
42	41.0000	1.73E-01	41	0.0449362704	-1.00926406831178-1.02426406871197i
43	42.0000	-3.13E-01	42	0.0010466489	3.32732842670311E-002-3.82803193836599E-003i
44	43.0000	-2.63E-01	43	0.0016581525	4.24255666321809E-002-3.18673540869691E-002i
45	44.0000	-2.70E-03	44	0.0022031290	2.18676044640459E-002-6.70229495183932E-002i
46	45.0000	4.11E-01	45	0.0132539192	0.167594204685553+0.389608200961358i
47	46.0000	3.17E-01	46	0.0029755877	-7.90693242602927E-002-5.305339918864E-002i
48	47.0000	-1.68E-01	47	0.0031715862	-0.101219345952963+7.41739383241545E-003i
49	48.0000	-2.96E-01	48	0.0032323013	-7.60785520970956E-002+7.00754759400713E-002i
50	49.0000	-1.73E-01	49	0.0156320297	-1.49999995998319E-002-0.500000000000005i
51	50.0000	3.13E-01	50	0.0029630335	4.83621669219789E-002+8.15559789111353E-002i
52	51.0000	4.13E-01	51	0.0026554584	8.00061433175865E-002+2.8630597268096E-002i
53	52.0000	2.70E-03	52	0.0022556814	6.75888220894971E-002-2.53370132131385E-002i
54	53.0000	-2.61E-01	53	0.0022556814	6.75888220894971E-002-2.53370132131385E-002i
55	54.0000	-3.17E-01	54	0.0012704952	-1.03871006926737E-002-3.93065635433808E-002i
56	55.0000	1.68E-01	55	0.0007418010	-2.12123623963443E-002-1.06541506514217E-002i
57	56.0000	4.46E-01	56	0.0002955388	-5.55689749131847E-003+7.65247103244427E-003i
58	57.0000	1.73E-01	57	0.0074424325	-0.160735930887955+0.175735931288038i
59	58.0000	-3.13E-01	58	0.0009278131	1.5770412934815E-002-2.51553423648288E-002i
60	59.0000	-2.63E-01	59	0.0013669650	-1.06541502511934E-002-4.24255662321584E-002i
61	60.0000	-2.70E-03	60	0.0017534053	-4.74245046450902E-002-2.99855455661593E-002i
62	61.0000	4.11E-01	61	0.0024083033	6.47355029511953E-002-4.18143231236332E-002i
63	62.0000	3.17E-01	62	0.0023293266	-4.49354572861725E-002+5.94708801872922E-002i
64	63.0000	-1.68E-01	63	0.0025109138	7.41739423249732E-003+8.00061429175201E-002i
65	64.0000	-2.96E-01	64	0.0026199242	6.19575348380341E-002+5.64801080240222E-002i

C_D untuk $Re = 10^4$ Helical rods

0	time (s)	Cd	FFT Freq	FFT Mag	FFT complex
1	0.0000	0.0000	0	3.74E-09	-1.19833440223372E-07
2	1.0000	1.0142	1	2.028	64.8959998801624
3	2.0000	1.0141	2	3.74E-09	-1.19837830254872E-007
4	3.0000	1.0136	3	3.74E-09	-1.19838385376148E-007
5	4.0000	1.0143	4	3.74E-09	-1.19839305389526E-007
6	5.0000	1.0141	5	3.75E-09	-1.19840579592795E-007
7	6.0000	1.0137	6	3.75E-09	-1.19842197955538E-007
8	7.0000	1.0143	7	3.75E-09	-1.1984414323927E-007
9	8.0000	1.0140	8	3.75E-09	-1.19846397323204E-007
10	9.0000	1.0137	9	3.75E-09	-1.19848938161182E-007
11	10.0000	1.0143	10	3.75E-09	-1.19851743662683E-007
12	11.0000	1.0139	11	3.75E-09	-1.19854784640886E-007
13	12.0000	1.0137	12	3.75E-09	-1.19858031811503E-007
14	13.0000	1.0144	13	3.75E-09	-1.19861454226645E-007
15	14.0000	1.0139	14	3.75E-09	-1.19865019935301E-007
16	15.0000	1.0138	15	3.75E-09	-1.19868693951186E-007
17	16.0000	1.0144	16	3.75E-09	-1.19872440211712E-007
18	17.0000	1.0138	17	3.75E-09	-1.19876226278848E-007
19	18.0000	1.0139	18	3.75E-09	-1.19880007938853E-007
20	19.0000	1.0144	19	3.75E-09	-1.19883756293631E-007
21	20.0000	1.0137	20	3.75E-09	-1.19887431928595E-007
22	21.0000	1.0139	21	3.75E-09	-1.1989100028594E-007
23	22.0000	1.0143	22	3.75E-09	-1.19894426913733E-007
24	23.0000	1.0137	23	0.000369	6.63864569993598E-003-9.76867790611819E-003i
25	24.0000	1.0140	24	3.75E-09	-1.19900724027327E-007
26	25.0000	1.0143	25	3.75E-09	-1.19903532160082E-007
27	26.0000	1.0137	26	3.75E-09	-1.19906080070207E-007
28	27.0000	1.0141	27	3.75E-09	-1.19908339767841E-007
29	28.0000	1.0143	28	3.75E-09	-1.19910288402645E-007
30	29.0000	1.0136	29	3.75E-09	-1.19911910089861E-007
31	30.0000	1.0141	30	3.75E-09	-1.19913187829998E-007
32	31.0000	1.0142	31	3.75E-09	-1.1991411033852E-007
33	32.0000	1.0136	32	3.75E-09	-1.19914666677983E-007
34	33.0000	1.0142	33	3.75E-09	-1.19914851381964E-007
35	34.0000	1.0141	34	3.75E-09	-1.19914666677983E-007
36	35.0000	1.0136	35	3.75E-09	-1.19914110341599E-007
37	36.0000	1.0143	36	3.75E-09	-1.19913187829998E-007
38	37.0000	1.0141	37	3.75E-09	-1.19911910089861E-007
39	38.0000	1.0137	38	3.75E-09	-1.19910288402645E-007
40	39.0000	1.0143	39	3.75E-09	-1.19908339768026E-007
41	40.0000	1.0140	40	3.75E-09	-1.19906080070207E-007
42	41.0000	1.0137	41	3.75E-09	-1.19903532160082E-007
43	42.0000	1.0143	42	3.75E-09	-1.19900724027327E-007
44	43.0000	1.0139	43	0.000369	6.63864569993601E-003+9.76867790611817E-003i
45	44.0000	1.0137	44	3.75E-09	-1.19894426913733E-007
46	45.0000	1.0144	45	3.75E-09	-1.1989100028594E-007
47	46.0000	1.0139	46	3.75E-09	-1.19887431928595E-007
48	47.0000	1.0138	47	3.75E-09	-1.19883756289374E-007
49	48.0000	1.0144	48	3.75E-09	-1.19880007938853E-007
50	49.0000	1.0138	49	3.75E-09	-1.19876226278848E-007
51	50.0000	1.0139	50	3.75E-09	-1.19872440211712E-007
52	51.0000	1.0144	51	3.75E-09	-1.19868693948944E-007
53	52.0000	1.0137	52	3.75E-09	-1.19865019935301E-007
54	53.0000	1.0139	53	3.75E-09	-1.19861454226645E-007
55	54.0000	1.0143	54	3.75E-09	-1.19858031811503E-007
56	55.0000	1.0137	55	3.75E-09	-1.19854784632212E-007
57	56.0000	1.0140	56	3.75E-09	-1.19851743662683E-007
58	57.0000	1.0143	57	3.75E-09	-1.19848938161182E-007
59	58.0000	1.0137	58	3.75E-09	-1.19846397323204E-007
60	59.0000	1.0141	59	3.75E-09	-1.19844143239456E-007
61	60.0000	1.0143	60	3.75E-09	-1.19842197955538E-007
62	61.0000	1.0136	61	3.75E-09	-1.19840579592795E-007
63	62.0000	1.0141	62	3.74E-09	-1.19839305389526E-007
64	63.0000	1.0142	63	3.74E-09	-1.19838385375605E-007
65	64.0000	1.0136	64	3.74E-09	-1.19837830254872E-007

C_L untuk $Re = 10^4$ Helical rods

0	time (s)	CL	FFT Freq	FFT Mag	FFT complex
1	0.0000	0.0000	0	3.74E-09	-1.19833440223372E-07
2	1.0000	-0.1039	1	2.028	64.8959998801624
3	2.0000	0.1881	2	3.74E-09	-1.19837830254872E-007
4	3.0000	0.2478	3	3.74E-09	-1.19838385376148E-007
5	4.0000	0.0016	4	3.74E-09	-1.19839305389526E-007
6	5.0000	-0.1904	5	3.75E-09	-1.19840579592795E-007
7	6.0000	-0.1904	6	3.75E-09	-1.19842197955538E-007
8	7.0000	0.1009	7	3.75E-09	-1.1984414323927E-007
9	8.0000	0.2676	8	3.75E-09	-1.19846397323204E-007
10	9.0000	0.1039	9	3.75E-09	-1.19848938161182E-007
11	10.0000	-0.1881	10	3.75E-09	-1.19851743662683E-007
12	11.0000	-0.1904	11	3.75E-09	-1.19854784640886E-007
13	12.0000	-0.0016	12	3.75E-09	-1.19858031811503E-007
14	13.0000	0.2466	13	3.75E-09	-1.19861454226645E-007
15	14.0000	0.1904	14	3.75E-09	-1.19865019935301E-007
16	15.0000	-0.1009	15	3.75E-09	-1.19868693951186E-007
17	16.0000	-0.1904	16	3.75E-09	-1.19872440211712E-007
18	17.0000	-0.1039	17	3.75E-09	-1.19876226278848E-007
19	18.0000	0.1881	18	3.75E-09	-1.19880007938853E-007
20	19.0000	0.2478	19	3.75E-09	-1.19883756293631E-007
21	20.0000	0.0016	20	3.75E-09	-1.19887431928595E-007
22	21.0000	-0.1904	21	3.75E-09	-1.1989100028594E-007
23	22.0000	-0.1904	22	3.75E-09	-1.19894426913733E-007
24	23.0000	0.1009	23	0.000369	6.63864569993598E-003-9.76867790611819E-003i
25	24.0000	0.2676	24	3.75E-09	-1.19900724027327E-007
26	25.0000	0.1039	25	3.75E-09	-1.19903532160082E-007
27	26.0000	-0.1881	26	3.75E-09	-1.19906080070207E-007
28	27.0000	-0.1904	27	3.75E-09	-1.19908339767841E-007
29	28.0000	-0.0016	28	3.75E-09	-1.19910288402645E-007
30	29.0000	0.2466	29	3.75E-09	-1.19911910089861E-007
31	30.0000	0.1904	30	3.75E-09	-1.19913187829998E-007
32	31.0000	-0.1009	31	3.75E-09	-1.1991411033852E-007
33	32.0000	-0.1904	32	3.75E-09	-1.19914666677983E-007
34	33.0000	-0.1039	33	3.75E-09	-1.19914851381964E-007
35	34.0000	0.1881	34	3.75E-09	-1.19914666677983E-007
36	35.0000	0.2478	35	3.75E-09	-1.19914110341599E-007
37	36.0000	0.0016	36	3.75E-09	-1.19913187829998E-007
38	37.0000	-0.1904	37	3.75E-09	-1.19911910089861E-007
39	38.0000	-0.1904	38	3.75E-09	-1.19910288402645E-007
40	39.0000	0.1009	39	3.75E-09	-1.19908339768026E-007
41	40.0000	0.2676	40	3.75E-09	-1.19906080070207E-007
42	41.0000	0.1039	41	3.75E-09	-1.19903532160082E-007
43	42.0000	-0.1881	42	3.75E-09	-1.19900724027327E-007
44	43.0000	-0.1904	43	0.000369	6.63864569993601E-003+9.76867790611817E-003i
45	44.0000	-0.0016	44	3.75E-09	-1.19894426913733E-007
46	45.0000	0.2466	45	3.75E-09	-1.1989100028594E-007
47	46.0000	0.1904	46	3.75E-09	-1.19887431928595E-007
48	47.0000	-0.1009	47	3.75E-09	-1.19883756289374E-007
49	48.0000	-0.1904	48	3.75E-09	-1.19880007938853E-007
50	49.0000	-0.1039	49	3.75E-09	-1.19876226278848E-007
51	50.0000	0.1881	50	3.75E-09	-1.19872440211712E-007
52	51.0000	0.2478	51	3.75E-09	-1.19868693948944E-007
53	52.0000	0.0016	52	3.75E-09	-1.19865019935301E-007
54	53.0000	-0.1904	53	3.75E-09	-1.19861454226645E-007
55	54.0000	-0.1904	54	3.75E-09	-1.19858031811503E-007
56	55.0000	0.1009	55	3.75E-09	-1.19854784632212E-007
57	56.0000	0.2676	56	3.75E-09	-1.19851743662683E-007
58	57.0000	0.1039	57	3.75E-09	-1.19848938161182E-007
59	58.0000	-0.1881	58	3.75E-09	-1.19846397323204E-007
60	59.0000	-0.1904	59	3.75E-09	-1.19844143239456E-007
61	60.0000	-0.0016	60	3.75E-09	-1.19842197955538E-007
62	61.0000	0.2466	61	3.75E-09	-1.19840579592795E-007
63	62.0000	0.1904	62	3.74E-09	-1.19839305389526E-007
64	63.0000	-0.1009	63	3.74E-09	-1.19838385375605E-007
65	64.0000	-0.1904	64	3.74E-09	-1.19837830254872E-007

C_D untuk $Re = 10^5$ Helical rods

0	time (s)	Cd	FFT Freq	FFT Mag	FFT complex
1	0.0000	0.00E+00	0	1.07E-08	-3.43601238459592E-07
2	1.0000	9.51E-01	1	1.902	60.8639996564005
3	2.0000	9.51E-01	2	1.07E-08	-3.43601403615229E-007
4	3.0000	9.51E-01	3	1.07E-08	-3.43606975039365E-007
5	4.0000	9.51E-01	4	1.07E-08	-3.43616200083699E-007-1.12562001350176E-010i
6	5.0000	9.51E-01	5	1.07E-08	-3.43628993215284E-007-1.4840135652675E-010i
7	6.0000	9.51E-01	6	1.07E-08	-3.4364523211586E-007-1.82821320087053E-010i
8	7.0000	9.51E-01	7	1.07E-08	-3.43664761954141E-007-2.15490128785228E-010i
9	8.0000	9.51E-01	8	1.07E-08	-3.43687397461234E-007-2.46096410694148E-010i
10	9.0000	9.51E-01	9	1.07E-08	-3.43712923473816E-007-2.74345265307302E-010i
11	10.0000	9.51E-01	10	1.07E-08	-3.43741093259983E-007-2.9996297552946E-010i
12	11.0000	9.51E-01	11	1.07E-08	-3.43771642059072E-007-3.22705154403109E-010i
13	12.0000	9.51E-01	12	1.07E-08	-3.43804275752386E-007-3.42350798281138E-010i
14	13.0000	9.51E-01	13	1.07E-08	-3.43838683350585E-007-3.58709723190537E-010i
15	14.0000	9.51E-01	14	1.07E-08	-3.43874535141614E-007-3.71623904566052E-010i
16	15.0000	9.51E-01	15	1.07E-08	-3.43911487323857E-007-3.8096509974439E-010i
17	16.0000	9.51E-01	16	1.07E-08	-3.4394918485657E-007-3.86643746611962E-010i
18	17.0000	9.51E-01	17	1.07E-08	-3.43987265338797E-007-3.88601151257717E-010i
19	18.0000	9.51E-01	18	1.08E-08	-3.44025363549175E-007-3.86814725731935E-010i
20	19.0000	9.51E-01	19	0.000304	1.98657781086501E-003-9.52202561518132E-003i
21	20.0000	9.51E-01	20	1.08E-08	-3.44100144125883E-007-3.72110811904884E-010i
22	21.0000	9.51E-01	21	1.08E-08	-3.44136104974784E-007-3.59329595693225E-010i
23	22.0000	9.51E-01	22	1.08E-08	-3.44170645316102E-007-3.43079506610317E-010i
24	23.0000	9.51E-01	23	1.08E-08	-3.44203431155202E-007-3.23514945010452E-010i
25	24.0000	9.51E-01	24	1.08E-08	-3.44234143736724E-007-3.00822545611628E-010i
26	25.0000	9.51E-01	25	1.08E-08	-3.44262484724056E-007-2.75221009229126E-010i
27	26.0000	9.51E-01	26	1.08E-08	-3.44288181493713E-007-2.46955980776316E-010i
28	27.0000	9.51E-01	27	1.08E-08	-3.44310981670335E-007-2.16300225300083E-010i
29	28.0000	9.51E-01	28	1.08E-08	-3.44330662767306E-007-1.83550028416232E-010i
30	29.0000	9.51E-01	29	1.08E-08	-3.4434703485509E-007-1.49021229029438E-010i
31	30.0000	9.51E-01	30	1.08E-08	-3.44359936600458E-007-1.13048908689007E-010i
32	31.0000	9.51E-01	31	1.08E-08	-3.44369243643785E-007
33	32.0000	9.51E-01	32	1.08E-08	-3.4437486393068E-007
34	33.0000	9.51E-01	33	1.08E-08	-3.44376744010333E-007
35	34.0000	9.51E-01	34	1.08E-08	-3.4437486393068E-007
36	35.0000	9.51E-01	35	1.08E-08	-3.4436924364083E-007
37	36.0000	9.51E-01	36	1.08E-08	-3.44359936600458E-007+1.13048908689008E-010i
38	37.0000	9.51E-01	37	1.08E-08	-3.4434703485509E-007+1.49021229029438E-010i
39	38.0000	9.51E-01	38	1.08E-08	-3.44330662767306E-007+1.83550028416233E-010i
40	39.0000	9.51E-01	39	1.08E-08	-3.44310981671867E-007+2.16300220834686E-010i
41	40.0000	9.51E-01	40	1.08E-08	-3.44288181493713E-007+2.46955980776317E-010i
42	41.0000	9.51E-01	41	1.08E-08	-3.44262484724056E-007+2.75221009229127E-010i
43	42.0000	9.51E-01	42	1.08E-08	-3.44234143736724E-007+3.00822545611628E-010i
44	43.0000	9.51E-01	43	1.08E-08	-3.44203431155239E-007+3.23514940671365E-010i
45	44.0000	9.51E-01	44	1.08E-08	-3.44170645316102E-007+3.43079506610318E-010i
46	45.0000	9.51E-01	45	1.08E-08	-3.44136104974784E-007+3.59329595693225E-010i
47	46.0000	9.51E-01	46	1.08E-08	-3.44100144125883E-007+3.72110811904884E-010i
48	47.0000	9.51E-01	47	0.000304	1.98657781086504E-003+9.52202561518131E-003i
49	48.0000	9.51E-01	48	1.08E-08	-3.44025363549175E-007+3.86814725731935E-010i
50	49.0000	9.51E-01	49	1.07E-08	-3.43987265338797E-007+3.88601151257717E-010i
51	50.0000	9.51E-01	50	1.07E-08	-3.4394918485657E-007+3.86643746611962E-010i
52	51.0000	9.51E-01	51	1.07E-08	-3.43911487313883E-007+3.80965107550646E-010i
53	52.0000	9.51E-01	52	1.07E-08	-3.43874535141614E-007+3.71623904566052E-010i
54	53.0000	9.51E-01	53	1.07E-08	-3.43838683350585E-007+3.58709723190537E-010i
55	54.0000	9.51E-01	54	1.07E-08	-3.43804275752386E-007+3.42350798281137E-010i
56	55.0000	9.51E-01	55	1.07E-08	-3.43771642059056E-007+3.22705160007049E-010i
57	56.0000	9.51E-01	56	1.07E-08	-3.43741093259983E-007+2.9996297552946E-010i
58	57.0000	9.51E-01	57	1.07E-08	-3.43712923473816E-007+2.74345265307302E-010i
59	58.0000	9.51E-01	58	1.07E-08	-3.43687397461234E-007+2.46096410694148E-010i
60	59.0000	9.51E-01	59	1.07E-08	-3.43664761953018E-007+2.15490131985772E-010i
61	60.0000	9.51E-01	60	1.07E-08	-3.4364523211586E-007+1.82821320087052E-010i
62	61.0000	9.51E-01	61	1.07E-08	-3.43628993215284E-007+1.48401356526749E-010i
63	62.0000	9.51E-01	62	1.07E-08	-3.43616200083699E-007+1.12562001350175E-010i
64	63.0000	9.51E-01	63	1.07E-08	-3.43606975040313E-007
65	64.0000	9.51E-01	64	1.07E-08	-3.43601403615229E-007

C_L untuk $Re = 10^5$ Helical rods

0	time (s)	CL	FFT Freq	FFT Mag	FFT complex
1	0.0000	0.00E+00	0	3.58E-05	1.13945838726632E-003-1.12226843835765E-004i
2	1.0000	-5.20E-02	1	0.121974	-1.51596037233478+3.59674612559121i
3	2.0000	9.40E-02	2	3.58E-05	1.0097749375058E-003-5.39735884753986E-004i
4	3.0000	1.24E-01	3	3.58E-05	6.36112268950825E-004-9.52009107770924E-004i
5	4.0000	8.10E-04	4	3.58E-05	1.12226963886422E-004-1.13945826725632E-003i
6	5.0000	-9.40E-02	5	0.002116	6.1968958632072E-002+2.72706764228631E-002i
7	6.0000	-9.40E-02	6	3.58E-05	-8.85074909859832E-004-7.26362305347882E-004i
8	7.0000	5.05E-02	7	3.58E-05	-1.12297118989012E-003-2.23372881749559E-004i
9	8.0000	1.34E-01	8	3.58E-05	-1.09566940501797E-003+3.32367716791001E-004i
10	9.0000	5.20E-02	9	0.000259	-5.41418046001135E-003-6.27356288751051E-003i
11	10.0000	-9.40E-02	10	3.58E-05	-3.32367596686384E-004+1.09566952505919E-003i
12	11.0000	-9.40E-02	11	3.58E-05	2.23373001817749E-004+1.1229713099544E-003i
13	12.0000	-8.10E-04	12	3.58E-05	7.26362425448279E-004+8.85075029994844E-004i
14	13.0000	1.23E-01	13	0.121974	-1.51596037233479-3.59674612559121i
15	14.0000	9.52E-02	14	3.58E-05	1.13945838726632E-003-1.12226843835765E-004i
16	15.0000	-5.05E-02	15	3.58E-05	9.52009227792712E-004-6.36112148948664E-004i
17	16.0000	-9.40E-02	16	3.58E-05	5.39736004801269E-004-1.00977481747376E-003i
18	17.0000	-5.20E-02	17	0.004935	-2.4786165788961E-003+0.15789947303958i
19	18.0000	9.40E-02	18	3.58E-05	-5.39735764735973E-004-1.00977481746191E-003i
20	19.0000	1.24E-01	19	3.58E-05	-9.52008987730572E-004-6.36112148928039E-004i
21	20.0000	8.10E-04	20	3.58E-05	-1.13945814721554E-003-1.12226843810828E-004i
22	21.0000	-9.40E-02	21	0.001836	2.26092972942442E-002-5.42206868622164E-002i
23	22.0000	-9.52E-02	22	3.58E-05	-7.26362185313433E-004+8.85075029893158E-004i
24	23.0000	5.05E-02	23	3.58E-05	-2.2337276173832E-004+1.12297130994343E-003i
25	24.0000	1.34E-01	24	3.58E-05	3.32367836805165E-004+1.09566952501794E-003i
26	25.0000	5.20E-02	25	0.010199	-0.228717756724139+0.232815607934617i
27	26.0000	-9.40E-02	26	3.58E-05	1.09566964507738E-003+3.32367716758418E-004i
28	27.0000	-9.40E-02	27	3.58E-05	1.12297142994726E-003-2.23372881766125E-004i
29	28.0000	-8.10E-04	28	3.58E-05	8.85075149968807E-004-7.26362305408414E-004i
30	29.0000	1.23E-01	29	0.007775	-0.231030532388563+9.23410398504693E-002i
31	30.0000	9.52E-02	30	3.58E-05	-1.12226723714563E-004-1.13945826726378E-003i
32	31.0000	-5.05E-02	31	3.58E-05	-6.36112028854581E-004-9.52009107766541E-004i
33	32.0000	-9.40E-02	32	3.58E-05	-1.00977469740169E-003-5.39735884729623E-004i
34	33.0000	-5.20E-02	33	0.002388	7.64211379665596E-002
35	34.0000	9.40E-02	34	3.58E-05	-1.00977469740169E-003+5.39735884729627E-004i
36	35.0000	1.24E-01	35	3.58E-05	-6.36112028854578E-004+9.52009107766543E-004i
37	36.0000	8.10E-04	36	3.58E-05	-1.12226723714559E-004+1.13945826726378E-003i
38	37.0000	-9.40E-02	37	0.007775	-0.231030532388564-9.23410398504708E-002i
39	38.0000	-9.52E-02	38	3.58E-05	8.85075149968809E-004+7.2636230540841E-004i
40	39.0000	5.05E-02	39	3.58E-05	1.12297142994726E-003+2.23372881766121E-004i
41	40.0000	1.34E-01	40	3.58E-05	1.09566964507738E-003-3.32367716758422E-004i
42	41.0000	5.20E-02	41	0.010199	-0.228717756724139-0.232815607934617i
43	42.0000	-9.40E-02	42	3.58E-05	3.32367836805161E-004-1.09566952501794E-003i
44	43.0000	-9.40E-02	43	3.58E-05	-2.23372761738324E-004-1.12297130994342E-003i
45	44.0000	-8.10E-04	44	3.58E-05	-7.26362185313437E-004-8.85075029893156E-004i
46	45.0000	1.23E-01	45	0.001836	2.26092972942474E-002+5.42206868622124E-002i
47	46.0000	9.52E-02	46	3.58E-05	-1.13945814721554E-003+1.12226843810832E-004i
48	47.0000	-5.05E-02	47	3.58E-05	-9.5200898773057E-004+6.36112148928042E-004i
49	48.0000	-9.40E-02	48	3.58E-05	-5.39735764735969E-004+1.00977481746191E-003i
50	49.0000	-5.20E-02	49	0.004935	-2.47861657889641E-003-0.15789947303958i
51	50.0000	9.40E-02	50	3.58E-05	5.39736004801272E-004+1.00977481747376E-003i
52	51.0000	1.24E-01	51	3.58E-05	9.52009227792714E-004+6.36112148948661E-004i
53	52.0000	8.10E-04	52	3.58E-05	1.13945838726632E-003+1.12226843835761E-004i
54	53.0000	-9.40E-02	53	0.121974	-1.51596037233478+3.59674612559121i
55	54.0000	-9.52E-02	54	3.58E-05	7.26362425448276E-004-8.85075029994846E-004i
56	55.0000	5.05E-02	55	3.58E-05	2.23373001817745E-004-1.1229713099544E-003i
57	56.0000	1.34E-01	56	3.58E-05	-3.32367596686388E-004-1.09566952505919E-003i
58	57.0000	5.20E-02	57	0.000259	-5.41418046001155E-003+6.27356288751015E-003i
59	58.0000	-9.40E-02	58	3.58E-05	-1.09566940501797E-003-3.32367716790997E-004i
60	59.0000	-9.40E-02	59	3.58E-05	-1.12297118989012E-003+2.23372881749563E-004i
61	60.0000	-8.10E-04	60	3.58E-05	-8.8507490985983E-004+7.26362305347886E-004i
62	61.0000	1.23E-01	61	0.002116	6.19689586320722E-002-2.72706764228616E-002i
63	62.0000	9.52E-02	62	3.58E-05	1.12226963886426E-004+1.13945826725632E-003i
64	63.0000	-5.05E-02	63	3.58E-05	6.36112268950829E-004+9.52009107770922E-004i
65	64.0000	-9.40E-02	64	3.58E-05	1.00977493750581E-003+5.39735884753983E-004i

C_D untuk $Re = 10^3$ Multiple Helical rods

0	time (s)	Cd	FFT Freq	FFT Mag	FFT complex
1	0.0000	0	0	0.0000000001	-2.73458217351237E-09
2	1.0000	9.52E-01	1	1.9039999999	60.9279999972654
3	2.0000	9.52E-01	2	0.0000000001	-2.73458738673372E-009
4	3.0000	9.52E-01	3	0.0000000001	-2.73458840126213E-009
5	4.0000	9.52E-01	4	0.0000000001	-2.73459044808554E-009
6	5.0000	9.52E-01	5	0.0000000001	-2.73459286401063E-009
7	6.0000	9.52E-01	6	0.0000000001	-2.73459645314316E-009
8	7.0000	9.52E-01	7	0.0000000001	-2.73460043867003E-009
9	8.0000	9.52E-01	8	0.0000000001	-2.73460517113557E-009
10	9.0000	9.52E-01	9	0.0000000001	-2.7346101919698E-009
11	10.0000	9.52E-01	10	0.0000000001	-2.73461626703521E-009
12	11.0000	9.52E-01	11	0.0000000001	-2.73462268864297E-009
13	12.0000	9.52E-01	12	0.0000000001	-2.73462931443288E-009
14	13.0000	9.52E-01	13	0.0000000001	-2.73463612509336E-009
15	14.0000	9.52E-01	14	0.0000000001	-2.73464381192442E-009
16	15.0000	9.52E-01	15	0.0000000001	-2.73465117239722E-009
17	16.0000	9.52E-01	16	0.0000000001	-2.73465920237934E-009
18	17.0000	9.52E-01	17	0.0000000001	-2.7346658271199E-009
19	18.0000	9.52E-01	18	0.0000000001	-2.73467489435111E-009
20	19.0000	9.52E-01	19	0.0000000001	-2.7346823837879E-009
21	20.0000	9.52E-01	20	0.0000000001	-2.73469028480603E-009
22	21.0000	9.52E-01	21	0.0000000001	-2.73469730550328E-009
23	22.0000	9.52E-01	22	0.0000000001	-2.73470478229756E-009
24	23.0000	9.52E-01	23	0.0000000001	-2.73471093344586E-009
25	24.0000	9.52E-01	24	0.0000000001	-2.73471782969524E-009
26	25.0000	9.52E-01	25	0.0000000001	-2.73472323862683E-009
27	26.0000	9.52E-01	26	0.0000000001	-2.73472892559488E-009
28	27.0000	9.52E-01	27	0.0000892005	2.38291033029716E-003-1.57143894857862E-003i
29	28.0000	9.52E-01	28	0.0000000001	-2.73473764358729E-009
30	29.0000	9.52E-01	29	0.0000000001	-2.734740566586E-009
31	30.0000	9.52E-01	30	0.0000000001	-2.73474364864491E-009
32	31.0000	9.52E-01	31	0.0000000001	-2.73474606618891E-009
33	32.0000	9.52E-01	32	0.0000000001	-2.73474670999673E-009
34	33.0000	9.52E-01	33	0.0000000001	-2.73474398682083E-009
35	34.0000	9.52E-01	34	0.0000000001	-2.73474670999673E-009
36	35.0000	9.52E-01	35	0.0000000001	-2.73474606607759E-009
37	36.0000	9.52E-01	36	0.0000000001	-2.73474364864491E-009
38	37.0000	9.52E-01	37	0.0000000001	-2.734740566586E-009
39	38.0000	9.52E-01	38	0.0000000001	-2.73473764358729E-009
40	39.0000	9.52E-01	39	0.0000892005	2.38291033029716E-003+1.57143894857862E-003i
41	40.0000	9.52E-01	40	0.0000000001	-2.73472892559488E-009
42	41.0000	9.52E-01	41	0.0000000001	-2.73472323862683E-009
43	42.0000	9.52E-01	42	0.0000000001	-2.73471782969524E-009
44	43.0000	9.52E-01	43	0.0000000001	-2.73471093125537E-009
45	44.0000	9.52E-01	44	0.0000000001	-2.73470478229756E-009
46	45.0000	9.52E-01	45	0.0000000001	-2.73469730550328E-009
47	46.0000	9.52E-01	46	0.0000000001	-2.73469028480603E-009
48	47.0000	9.52E-01	47	0.0000000001	-2.73468238274313E-009
49	48.0000	9.52E-01	48	0.0000000001	-2.73467489435111E-009
50	49.0000	9.52E-01	49	0.0000000001	-2.7346658271199E-009
51	50.0000	9.52E-01	50	0.0000000001	-2.73465920237934E-009
52	51.0000	9.52E-01	51	0.0000000001	-2.73465117167986E-009
53	52.0000	9.52E-01	52	0.0000000001	-2.73464381192442E-009
54	53.0000	9.52E-01	53	0.0000000001	-2.73463612509336E-009
55	54.0000	9.52E-01	54	0.0000000001	-2.73462931443288E-009
56	55.0000	9.52E-01	55	0.0000000001	-2.7346226881872E-009
57	56.0000	9.52E-01	56	0.0000000001	-2.73461626703521E-009
58	57.0000	9.52E-01	57	0.0000000001	-2.7346101919698E-009
59	58.0000	9.52E-01	58	0.0000000001	-2.73460517113557E-009
60	59.0000	9.52E-01	59	0.0000000001	-2.73460043758583E-009
61	60.0000	9.52E-01	60	0.0000000001	-2.73459645314316E-009
62	61.0000	9.52E-01	61	0.0000000001	-2.73459286401063E-009
63	62.0000	9.52E-01	62	0.0000000001	-2.73459044808554E-009
64	63.0000	9.52E-01	63	0.0000000001	-2.73458840126137E-009
65	64.0000	9.52E-01	64	0.0000000001	-2.73458738673372E-009

C_L untuk $Re = 10^3$ Multiple Helical rods

0	time (s)	CL	FFT Freq	FFT Mag	FFT complex
1	0.0000	0.00E+00	0	0.0084562097	-0.265677275149088+5.1373613202739E-002i
2	1.0000	-1.04E+00	1	2.4184185191	-30.0936873721972-71.2985839216563i
3	2.0000	1.88E+00	2	0.0050777893	-0.117556533194368+0.112174955883382i
4	3.0000	2.48E+00	3	0.0156248349	-0.13002848219023+0.482791165316592i
5	4.0000	1.62E-02	4	0.0205274723	0.639844783846933-0.148623084340101i
6	5.0000	-1.87E+00	5	0.0126218565	0.373154396621862+0.154565610945175i
7	6.0000	-1.90E+00	6	0.0169716875	0.5002848692224-0.211343659677638i
8	7.0000	1.01E+00	7	0.0280046506	0.673704954803831+0.590935138618042i
9	8.0000	2.68E+00	8	0.0195155692	0.149133324624818+0.606429938846645i
10	9.0000	1.04E+00	9	0.0482075214	-1.09081168839562-1.09081169079613i
11	10.0000	-1.88E+00	10	0.0219752281	0.273087801435258+0.648015089605655i
12	11.0000	-1.88E+00	11	0.0192578993	0.590935141018879-0.174823185020934i
13	12.0000	-1.62E-02	12	0.0040344375	-9.42894640666606E-002-8.81863014201619E-002i
14	13.0000	2.47E+00	13	2.4184185191	-30.0936873721972-71.2985839216563i
15	14.0000	1.90E+00	14	0.0084562097	-0.265677275149088+5.1373613202739E-002i
16	15.0000	-1.01E+00	15	0.0121301108	-0.365736969706515-0.130028484591706i
17	16.0000	-2.08E+00	16	0.0183257849	0.445517098096782+0.381325231786188i
18	17.0000	-1.04E+00	17	0.0843750000	2.4010109789252E-009+2.700000000000003i
19	18.0000	1.88E+00	18	0.0138386908	0.38670681389784+0.215785604217093i
20	19.0000	2.48E+00	19	0.0270511859	-0.482791162916021+0.718499652832661i
21	20.0000	1.62E-02	20	0.0213503223	-0.439848081501582+0.52279058823598i
22	21.0000	-1.57E+00	21	0.0888524124	1.08807507857376-2.62684560577936i
23	22.0000	-1.90E+00	22	0.0226067924	-0.377127506163081+0.617339060029498i
24	23.0000	1.01E+00	23	0.0225397331	0.257593001206418+0.67370495240263i
25	24.0000	2.68E+00	24	0.0066658160	-0.107548169063247-0.184208817588487i
26	25.0000	1.04E+00	25	0.2169575214	-4.9091883068028+4.90918830920396i
27	26.0000	-1.88E+00	26	0.0121031528	-0.314672947392956-0.22579396834762i
28	27.0000	-1.58E+00	27	0.0097286073	0.174823187421266-0.257592998806171i
29	28.0000	-1.62E-02	28	0.0154695047	-2.88678893874822E-002+0.49418170177254i
30	29.0000	2.47E+00	29	0.1561281435	-4.61579507893913+1.91192492382527i
31	30.0000	1.90E+00	30	0.0102940097	6.56805824078975E-002+0.322793890692186i
32	31.0000	-1.01E+00	31	0.0251946578	-0.718499650431727-0.36573697210703i
33	32.0000	-2.08E+00	32	0.0223955308	-0.71466736919717-5.33646716857578E-002i
34	33.0000	-1.04E+00	33	0.1031250001	3.30000000240088
35	34.0000	1.88E+00	34	0.0223955308	-0.71466736919717+5.33646716857617E-002i
36	35.0000	2.48E+00	35	0.0251946578	-0.718499650431727+0.365736972107033i
37	36.0000	1.62E-02	36	0.0102940097	6.56805824078958E-002-0.322793890692185i
38	37.0000	-1.87E+00	37	0.1561281435	-4.61579507893914-1.9119249238253i
39	38.0000	-1.90E+00	38	0.0154695047	-2.88678893874844E-002-0.494181701772539i
40	39.0000	1.01E+00	39	0.0097286073	0.174823187421266+0.257592998806172i
41	40.0000	2.68E+00	40	0.0121031528	-0.314672947392955+0.225793968347622i
42	41.0000	1.04E+00	41	0.2169575214	-4.9091883068028-4.90918830920396i
43	42.0000	-1.88E+00	42	0.0066658160	-0.107548169063248+0.184208817588488i
44	43.0000	-1.58E+00	43	0.0225397331	0.257593001206416-0.67370495240263i
45	44.0000	-1.62E-02	44	0.0226067924	-0.377127506163084-0.617339060029496i
46	45.0000	2.47E+00	45	0.0888524124	1.08807507857383+2.62684560577928i
47	46.0000	1.90E+00	46	0.0213503223	-0.439848081501585-0.522790588235978i
48	47.0000	-1.01E+00	47	0.0270511859	-0.482791162916024-0.71849965283266i
49	48.0000	-2.08E+00	48	0.0138386908	0.386706813897838-0.215785604217095i
50	49.0000	-1.04E+00	49	0.0843750000	2.4010055832413E-009-2.700000000000003i
51	50.0000	1.88E+00	50	0.0183257849	0.445517098096779-0.38132523178619i
52	51.0000	2.48E+00	51	0.0121301108	-0.365736969706516+0.130028484591707i
53	52.0000	1.62E-02	52	0.0084562097	-0.265677275149089-5.13736132027385E-002i
54	53.0000	-1.57E+00	53	2.4184185191	-30.093687372197+71.2985839216564i
55	54.0000	-1.90E+00	54	0.0040344375	-9.42894640666615E-002+8.81863014201619E-002i
56	55.0000	1.01E+00	55	0.0192578993	0.590935141018878+0.174823185020932i
57	56.0000	2.68E+00	56	0.0219752281	0.273087801435255-0.648015089605657i
58	57.0000	1.04E+00	57	0.0482075214	-1.09081168839562+1.09081169079613i
59	58.0000	-1.88E+00	58	0.0195155692	0.149133324624815-0.606429938846647i
60	59.0000	-1.88E+00	59	0.0280046506	0.673704954803829+0.590935138618045i
61	60.0000	-1.62E-02	60	0.0169716875	0.500284869222399+0.211343659677634i
62	61.0000	2.47E+00	61	0.0126218565	0.373154396621865-0.154565610945145i
63	62.0000	1.90E+00	62	0.0205274723	0.639844783846934+0.148623084340098i
64	63.0000	-1.01E+00	63	0.0156248349	-0.130028482190231-0.482791165316593i
65	64.0000	-1.78E+00	64	0.0050777893	-0.117556533194368-0.112174955883382i

C_D untuk Re = 10⁴ Multiple Helical rods

0	time (s)	Cd	FFT Freq	FFT Mag	FFT complex
1	0.0000	0.0000	0	3.74E-09	-1.19837232352352E-07
2	1.0000	1.0032	1	2.006	64.1919998801623
3	2.0000	1.0031	2	3.74E-09	-1.19837830254872E-007
4	3.0000	1.0026	3	3.74E-09	-1.19838385376148E-007
5	4.0000	1.0033	4	3.74E-09	-1.19839305389526E-007
6	5.0000	1.0031	5	3.75E-09	-1.19840579592795E-007
7	6.0000	1.0027	6	3.75E-09	-1.19842197955538E-007
8	7.0000	1.0033	7	3.75E-09	-1.1984414323927E-007
9	8.0000	1.0030	8	3.75E-09	-1.19846397323204E-007
10	9.0000	1.0027	9	3.75E-09	-1.19848938161182E-007
11	10.0000	1.0033	10	3.75E-09	-1.19851743662683E-007
12	11.0000	1.0029	11	3.75E-09	-1.19854784640886E-007
13	12.0000	1.0027	12	3.75E-09	-1.19858031811503E-007
14	13.0000	1.0034	13	3.75E-09	-1.19861454226645E-007
15	14.0000	1.0029	14	3.75E-09	-1.19865019935301E-007
16	15.0000	1.0028	15	3.75E-09	-1.19868693951186E-007
17	16.0000	1.0034	16	3.75E-09	-1.19872440211712E-007
18	17.0000	1.0028	17	3.75E-09	-1.19876226278848E-007
19	18.0000	1.0029	18	3.75E-09	-1.19880007938853E-007
20	19.0000	1.0034	19	3.75E-09	-1.19883756293631E-007
21	20.0000	1.0027	20	3.75E-09	-1.19887431928595E-007
22	21.0000	1.0029	21	3.75E-09	-1.1989100028594E-007
23	22.0000	1.0033	22	3.75E-09	-1.19894426913733E-007
24	23.0000	1.0027	23	0.000369	6.63864569993598E-003-9.76867790611819E-003i
25	24.0000	1.0030	24	3.75E-09	-1.19900724027327E-007
26	25.0000	1.0033	25	3.75E-09	-1.19903532160082E-007
27	26.0000	1.0027	26	3.75E-09	-1.19906080070207E-007
28	27.0000	1.0031	27	3.75E-09	-1.19908339767841E-007
29	28.0000	1.0033	28	3.75E-09	-1.19910288402645E-007
30	29.0000	1.0026	29	3.75E-09	-1.19911910089861E-007
31	30.0000	1.0031	30	3.75E-09	-1.19913187829998E-007
32	31.0000	1.0032	31	3.75E-09	-1.1991411033852E-007
33	32.0000	1.0026	32	3.75E-09	-1.19914666677983E-007
34	33.0000	1.0032	33	3.75E-09	-1.19914851381964E-007
35	34.0000	1.0031	34	3.75E-09	-1.19914666677983E-007
36	35.0000	1.0026	35	3.75E-09	-1.19914110341599E-007
37	36.0000	1.0033	36	3.75E-09	-1.19913187829998E-007
38	37.0000	1.0031	37	3.75E-09	-1.19911910089861E-007
39	38.0000	1.0027	38	3.75E-09	-1.19910288402645E-007
40	39.0000	1.0033	39	3.75E-09	-1.19908339768026E-007
41	40.0000	1.0030	40	3.75E-09	-1.19906080070207E-007
42	41.0000	1.0027	41	3.75E-09	-1.19903532160082E-007
43	42.0000	1.0033	42	3.75E-09	-1.19900724027327E-007
44	43.0000	1.0029	43	0.000369	6.63864569993601E-003+9.76867790611817E-003i
45	44.0000	1.0027	44	3.75E-09	-1.19894426913733E-007
46	45.0000	1.0034	45	3.75E-09	-1.1989100028594E-007
47	46.0000	1.0029	46	3.75E-09	-1.19887431928595E-007
48	47.0000	1.0028	47	3.75E-09	-1.19883756289374E-007
49	48.0000	1.0034	48	3.75E-09	-1.19880007938853E-007
50	49.0000	1.0028	49	3.75E-09	-1.19876226278848E-007
51	50.0000	1.0029	50	3.75E-09	-1.19872440211712E-007
52	51.0000	1.0034	51	3.75E-09	-1.19868693948944E-007
53	52.0000	1.0027	52	3.75E-09	-1.19865019935301E-007
54	53.0000	1.0029	53	3.75E-09	-1.19861454226645E-007
55	54.0000	1.0033	54	3.75E-09	-1.19858031811503E-007
56	55.0000	1.0027	55	3.75E-09	-1.19854784632212E-007
57	56.0000	1.0030	56	3.75E-09	-1.19851743662683E-007
58	57.0000	1.0033	57	3.75E-09	-1.19848938161182E-007
59	58.0000	1.0027	58	3.75E-09	-1.19846397323204E-007
60	59.0000	1.0031	59	3.75E-09	-1.19844143239456E-007
61	60.0000	1.0033	60	3.75E-09	-1.19842197955538E-007
62	61.0000	1.0026	61	3.75E-09	-1.19840579592795E-007
63	62.0000	1.0031	62	3.74E-09	-1.19839305389526E-007
64	63.0000	1.0032	63	3.74E-09	-1.19838385375605E-007
65	64.0000	1.0026	64	3.74E-09	-1.19837830254872E-007

C_L untuk $Re = 10^4$ Multiple Helical rods

0	time (s)	CL	FFT Freq	FFT Mag	FFT complex
1	0.0000	0.0000	0	5E-10	1.60026991657958E-008
2	1.0000	-0.6927	1	1.78401	-22.1655019887617-52.6095860019976i
3	2.0000	1.2538	2	5E-11	1.60040876607821E-009
4	3.0000	1.6523	3	5E-11	1.60048507512952E-009
5	4.0000	0.0108	4	5E-11	1.60097191589747E-009
6	5.0000	-1.6440	5	5E-11	1.60068369755883E-009
7	6.0000	-1.2691	6	5E-11	1.60117643693167E-009
8	7.0000	0.6727	7	5E-11	1.60076088289714E-009
9	8.0000	1.7840	8	5E-11	1.60058384423035E-009
10	9.0000	0.6927	9	5E-11	1.60046648138193E-009
11	10.0000	-1.2538	10	5E-11	1.60085358017435E-009
12	11.0000	-1.6523	11	5E-11	1.60071189211568E-009
13	12.0000	-0.0108	12	5E-11	1.60111160148093E-009
14	13.0000	1.6440	13	5E-12	1.60111160148093E-010
15	14.0000	1.2691	14	5E-11	1.60025281500289E-009
16	15.0000	-0.6727	15	5E-11	1.60038310636628E-009
17	16.0000	-1.7840	16	5E-11	1.60084431967221E-009
18	17.0000	-0.6927	17	5E-11	1.60067292753752E-009
19	18.0000	1.2538	18	5E-11	1.60004434474135E-009
20	19.0000	1.6523	19	5E-11	1.60049798911698E-009
21	20.0000	0.0108	20	5E-11	1.6003726762586E-009
22	21.0000	-1.6440	21	5E-11	1.59990776182894E-009
23	22.0000	-1.2691	22	5E-11	1.60056749847932E-009
24	23.0000	0.6727	23	5E-11	1.60024541055893E-009
25	24.0000	1.7840	24	5E-11	1.60064218872347E-009
26	25.0000	0.6927	25	5E-11	1.60058361027935E-009
27	26.0000	-1.2538	26	5E-11	1.60050091309431E-009
28	27.0000	-1.6523	27	5E-11	1.60006915241057E-009
29	28.0000	-0.0108	28	5E-11	1.60059787808475E-009
30	29.0000	1.6440	29	5E-11	1.60064959038787E-009
31	30.0000	1.2691	30	5E-11	1.60116870158021E-009
32	31.0000	-0.6727	31	5E-11	1.60078040452408E-009
33	32.0000	-1.7840	32	5E-11	1.60075640165531E-009
34	33.0000	-0.6927	33	5E-11	1.6005909930783E-009
35	34.0000	1.2538	34	5E-11	1.60075640165531E-009
36	35.0000	1.6523	35	5E-11	1.60078040452408E-009
37	36.0000	0.0108	36	5E-11	1.60116870158021E-009
38	37.0000	-1.6440	37	5E-11	1.60065416391042E-009
39	38.0000	-1.2691	38	5E-11	1.60059787808475E-009
40	39.0000	0.6727	39	5E-11	1.60006915241057E-009
41	40.0000	1.7840	40	5E-11	1.60050091309431E-009
42	41.0000	0.6927	41	5E-11	1.60058361027935E-009
43	42.0000	-1.2538	42	5E-11	1.60064218872347E-009
44	43.0000	-1.6523	43	5E-11	1.60024541055893E-009
45	44.0000	-0.0108	44	5E-11	1.60056749847932E-009
46	45.0000	1.6440	45	5E-11	1.59995927617729E-009
47	46.0000	1.2691	46	5E-11	1.6003726762586E-009
48	47.0000	-0.6727	47	5E-11	1.60049798911698E-009
49	48.0000	-1.7840	48	5E-11	1.60004434474135E-009
50	49.0000	-0.6927	49	5E-11	1.60067292753752E-009
51	50.0000	1.2538	50	5E-11	1.60084431967221E-009
52	51.0000	1.6523	51	5E-11	1.60038310636628E-009
53	52.0000	0.0108	52	5E-11	1.60025281500289E-009
54	53.0000	-1.6440	53	5E-12	1.60025281500289E-010
55	54.0000	-1.2691	54	5E-11	1.60111160148093E-009
56	55.0000	0.6727	55	5E-11	1.60071189211568E-009
57	56.0000	1.7840	56	5E-11	1.60085358017435E-009
58	57.0000	0.6927	57	5E-11	1.60046648138193E-009
59	58.0000	-1.2538	58	5E-11	1.60058384423035E-009
60	59.0000	-1.6523	59	5E-11	1.60076088289714E-009
61	60.0000	-0.0108	60	5E-11	1.60117643693167E-009
62	61.0000	1.6440	61	5E-11	1.60068827108138E-009
63	62.0000	1.2691	62	5E-11	1.60097191589747E-009
64	63.0000	-0.6727	63	5E-11	1.60048507512952E-009
65	64.0000	-1.7840	64	5E-11	1.60040876607821E-009

C_D untuk Re = 10⁵ Multiple Helical rods

0	time (s)	Cd	FFT Freq	FFT Mag	FFT complex
1	0.0000	0.00E+00	0	1.07E-08	-3.43601323284893E-07
2	1.0000	1.01E+00	1	2.01	64.3199996564005
3	2.0000	1.01E+00	2	1.07E-08	-3.43601403610775E-007
4	3.0000	1.00E+00	3	1.07E-08	-3.4360697448657E-007
5	4.0000	1.00E+00	4	1.07E-08	-3.43616200825442E-007-1.12561733390056E-010i
6	5.0000	1.01E+00	5	1.07E-08	-3.43628993699248E-007-1.48400972114493E-010i
7	6.0000	1.01E+00	6	1.07E-08	-3.43645231902582E-007-1.82820934195665E-010i
8	7.0000	1.00E+00	7	1.07E-08	-3.43664762615754E-007-2.1549123490681E-010i
9	8.0000	1.01E+00	8	1.07E-08	-3.4368739724389E-007-2.46096450410628E-010i
10	9.0000	1.01E+00	9	1.07E-08	-3.43712921589705E-007-2.74343749091899E-010i
11	10.0000	1.00E+00	10	1.07E-08	-3.4374109309475E-007-2.99962992894221E-010i
12	11.0000	1.00E+00	11	1.07E-08	-3.43771641379968E-007-3.22705118440954E-010i
13	12.0000	1.01E+00	12	1.07E-08	-3.43804276018745E-007-3.42350835957101E-010i
14	13.0000	1.01E+00	13	1.07E-08	-3.43838682626282E-007-3.58710399687492E-010i
15	14.0000	1.00E+00	14	1.07E-08	-3.43874534988416E-007-3.7162415332512E-010i
16	15.0000	1.00E+00	15	1.07E-08	-3.43911486275217E-007-3.80966980184638E-010i
17	16.0000	1.01E+00	16	1.07E-08	-3.43949184746467E-007-3.86643508777985E-010i
18	17.0000	1.00E+00	17	1.07E-08	-3.4398726356244E-007-3.88602927614556E-010i
19	18.0000	1.00E+00	18	1.08E-08	-3.44025363493599E-007-3.86815385590852E-010i
20	19.0000	1.01E+00	19	0.000304	1.98657781086432E-003-9.52202561518052E-003i
21	20.0000	1.01E+00	20	1.08E-08	-3.44100144726788E-007-3.72110569990532E-010i
22	21.0000	1.00E+00	21	1.08E-08	-3.4413610507105E-007-3.59330900227163E-010i
23	22.0000	1.00E+00	22	1.08E-08	-3.44170644738142E-007-3.43080003053249E-010i
24	23.0000	1.01E+00	23	1.08E-08	-3.44203431093418E-007-3.2351468841612E-010i
25	24.0000	1.00E+00	24	1.08E-08	-3.44234144250629E-007-3.00822746950191E-010i
26	25.0000	1.00E+00	25	1.08E-08	-3.44262486608167E-007-2.75221269370562E-010i
27	26.0000	1.01E+00	26	1.08E-08	-3.44288182146366E-007-2.46956272075154E-010i
28	27.0000	1.01E+00	27	1.08E-08	-3.44310981229114E-007-2.16300590590545E-010i
29	28.0000	1.00E+00	28	1.08E-08	-3.44330662915705E-007-1.8354955300456E-010i
30	29.0000	1.00E+00	29	1.08E-08	-3.44347034999163E-007-1.49021472654164E-010i
31	30.0000	1.01E+00	30	1.08E-08	-3.44359936675667E-007-1.13049378125053E-010i
32	31.0000	1.01E+00	31	1.08E-08	-3.4436924151976E-007
33	32.0000	1.00E+00	32	1.08E-08	-3.44374864205011E-007
34	33.0000	1.01E+00	33	1.08E-08	-3.4437675111576E-007
35	34.0000	1.01E+00	34	1.08E-08	-3.44374864205011E-007
36	35.0000	1.00E+00	35	1.08E-08	-3.44369241516948E-007
37	36.0000	1.00E+00	36	1.08E-08	-3.44359936675667E-007+1.13049378125054E-010i
38	37.0000	1.01E+00	37	1.08E-08	-3.44347034999163E-007+1.49021472654165E-010i
39	38.0000	1.01E+00	38	1.08E-08	-3.44330662915705E-007+1.83549553004561E-010i
40	39.0000	1.00E+00	39	1.08E-08	-3.44310981230637E-007+2.16300586032744E-010i
41	40.0000	1.01E+00	40	1.08E-08	-3.44288182146366E-007+2.46956272075155E-010i
42	41.0000	1.01E+00	41	1.08E-08	-3.44262486608167E-007+2.75221269370563E-010i
43	42.0000	1.00E+00	42	1.08E-08	-3.44234144250629E-007+3.00822746950191E-010i
44	43.0000	1.00E+00	43	1.08E-08	-3.44203431093168E-007+3.2351468380342E-010i
45	44.0000	1.01E+00	44	1.08E-08	-3.44170644738142E-007+3.43080003053249E-010i
46	45.0000	1.01E+00	45	1.08E-08	-3.4413610507105E-007+3.59330900227163E-010i
47	46.0000	1.00E+00	46	1.08E-08	-3.44100144726788E-007+3.72110569990532E-010i
48	47.0000	1.00E+00	47	0.000304	1.98657781086435E-003+9.52202561518051E-003i
49	48.0000	1.01E+00	48	1.08E-08	-3.44025363493599E-007+3.86815385590852E-010i
50	49.0000	1.00E+00	49	1.07E-08	-3.4398726356244E-007+3.88602927614556E-010i
51	50.0000	1.00E+00	50	1.07E-08	-3.43949184746467E-007+3.86643508777985E-010i
52	51.0000	1.01E+00	51	1.07E-08	-3.43911486265459E-007+3.8096698625617E-010i
53	52.0000	1.01E+00	52	1.07E-08	-3.43874534988416E-007+3.7162415332512E-010i
54	53.0000	1.00E+00	53	1.07E-08	-3.43838682626282E-007+3.58710399687491E-010i
55	54.0000	1.00E+00	54	1.07E-08	-3.43804276018745E-007+3.423508359571E-010i
56	55.0000	1.01E+00	55	1.07E-08	-3.43771641380041E-007+3.22705123919199E-010i
57	56.0000	1.00E+00	56	1.07E-08	-3.4374109309475E-007+2.99962992894221E-010i
58	57.0000	1.00E+00	57	1.07E-08	-3.43712921589705E-007+2.74343749091899E-010i
59	58.0000	1.01E+00	58	1.07E-08	-3.4368739724389E-007+2.46096450410628E-010i
60	59.0000	1.01E+00	59	1.07E-08	-3.43664762615213E-007+2.15491237731706E-010i
61	60.0000	1.00E+00	60	1.07E-08	-3.43645231902582E-007+1.82820934195665E-010i
62	61.0000	1.00E+00	61	1.07E-08	-3.43628993699248E-007+1.48400972114492E-010i
63	62.0000	1.01E+00	62	1.07E-08	-3.43616200825442E-007+1.12561733390055E-010i
64	63.0000	1.01E+00	63	1.07E-08	-3.43606974488311E-007
65	64.0000	1.00E+00	64	1.07E-08	-3.43601403610775E-007

C_L untuk Re = 10⁵ Multiple Helical rods

0	time (s)	CL	FFT Freq	FFT Mag	FFT complex
1	0.0000	0.00E+00	0	1.07E-08	-3.43601323284893E-07
2	1.0000	-3.46E-02	1	0.084634	-1.0500275140143-2.4964571893943i
3	2.0000	6.27E-02	2	0.0006	-1.54262215112222E-002+1.14120492687207E-002i
4	3.0000	8.26E-02	3	0.00131	-3.05140152101462E-002-2.87354847302226E-002i
5	4.0000	5.40E-04	4	0.000953	-2.77761989399121E-002-1.25881394198241E-002i
6	5.0000	-7.52E-02	5	0.001686	4.71920459217758E-002+2.61475854237753E-002i
7	6.0000	-6.35E-02	6	0.001269	-1.42444050353976E-002-3.80298507371357E-002i
8	7.0000	3.36E-02	7	0.000656	-8.02543192312383E-003+1.93983810328744E-002i
9	8.0000	8.92E-02	8	0.000247	6.54822426683283E-003-4.43519693564467E-003i
10	9.0000	3.46E-02	9	0.000378	-4.59354613181987E-003-1.11935462118368E-002i
11	10.0000	-6.27E-02	10	0.000977	-2.25381858815547E-002+2.16577211858488E-002i
12	11.0000	-7.18E-02	11	0.001018	1.49846849409573E-003-3.25518026798714E-002i
13	12.0000	-5.40E-04	12	0.001524	-4.04078817617052E-002-2.72766754847207E-002i
14	13.0000	8.22E-02	13	0.001524	-4.04078817617052E-002-2.72766754847207E-002i
15	14.0000	6.35E-02	14	0.00138	-2.89560866157137E-003-4.40547127547128E-002i
16	15.0000	-3.36E-02	15	0.001472	-2.79475561361058E-002-3.79284018621981E-002i
17	16.0000	-6.99E-02	16	0.001051	3.27612817401206E-002-7.63122416583317E-003i
18	17.0000	-3.46E-02	17	0.001233	-6.5999999199662E-003+3.89000000000012E-002i
19	18.0000	6.27E-02	18	0.000146	4.51204444884949E-004-4.63773213892702E-003i
20	19.0000	8.26E-02	19	0.000681	2.13210982382388E-002+4.49788143334245E-003i
21	20.0000	5.40E-04	20	0.000927	-7.75863044308731E-003-2.8644411280765E-002i
22	21.0000	-7.11E-02	21	0.000484	-3.5175204799478E-003+1.50920458417347E-002i
23	22.0000	-6.35E-02	22	0.000788	1.44368375088335E-002-2.06906924282904E-002i
24	23.0000	3.36E-02	23	0.000865	-9.7007834201428E-003-2.59253446219703E-002i
25	24.0000	6.83E-02	24	0.000365	8.98395107570549E-003-7.4865086309468E-003i
26	25.0000	3.46E-02	25	0.002784	-5.96064537081274E-002+6.62064537881662E-002i
27	26.0000	-6.27E-02	26	0.000879	-7.62298828808936E-003-2.70869400215982E-002i
28	27.0000	-7.01E-02	27	0.001597	5.04517153786889E-002-8.19912911865568E-003i
29	28.0000	-5.40E-04	28	0.001178	3.37229628775953E-002-1.68148685334537E-002i
30	29.0000	8.22E-02	29	0.003374	-0.101922110625547+3.56175205599156E-002i
31	30.0000	6.35E-02	30	0.001506	4.49229250955552E-002+1.74511612013262E-002i
32	31.0000	-3.36E-02	31	0.000648	2.91650521869139E-003-2.05331696441202E-002i
33	32.0000	-6.99E-02	32	0.00066	-3.15726520644599E-003+2.08980280264711E-002i
34	33.0000	-3.46E-02	33	0.000997	3.19000000800293E-002
35	34.0000	6.27E-02	34	0.00066	-3.15726520644611E-003-2.08980280264711E-002i
36	35.0000	8.26E-02	35	0.000648	2.91650521869148E-003+2.05331696441201E-002i
37	36.0000	5.40E-04	36	0.001506	4.49229250955551E-002-1.74511612013265E-002i
38	37.0000	-7.92E-02	37	0.003374	-0.101922110625548-3.56175205599167E-002i
39	38.0000	-6.35E-02	38	0.001178	3.37229628775955E-002+1.68148685334535E-002i
40	39.0000	3.36E-02	39	0.001597	5.04517153786889E-002+8.19912911865547E-003i
41	40.0000	8.92E-02	40	0.000879	-7.62298828808919E-003+2.70869400215982E-002i
42	41.0000	3.46E-02	41	0.002784	-5.96064537081276E-002-6.62064537881661E-002i
43	42.0000	-6.27E-02	42	0.000365	8.98395107570552E-003+7.48650863094671E-003i
44	43.0000	-6.72E-02	43	0.000865	-9.70078342014264E-003+2.59253446219703E-002i
45	44.0000	-5.40E-04	44	0.000788	1.44368375088336E-002+2.06906924282903E-002i
46	45.0000	8.22E-02	45	0.000484	-3.51752047994547E-003-1.50920458417376E-002i
47	46.0000	6.35E-02	46	0.000927	-7.7586304430871E-003+2.8644411280765E-002i
48	47.0000	-3.36E-02	47	0.000681	2.13210982382388E-002-4.49788143334258E-003i
49	48.0000	-6.80E-02	48	0.000146	4.51204444884997E-004+4.63773213892707E-003i
50	49.0000	-3.46E-02	49	0.001233	-6.59999991996628E-003-3.89000000000012E-002i
51	50.0000	6.27E-02	50	0.001051	3.27612817401207E-002+7.63122416583301E-003i
52	51.0000	8.26E-02	51	0.001472	-2.79475561361057E-002+3.79284018621983E-002i
53	52.0000	5.40E-04	52	0.00138	-2.89560866157108E-003+4.40547127547129E-002i
54	53.0000	-7.12E-02	53	0.00138	-2.89560866157108E-003+4.40547127547129E-002i
55	54.0000	-6.35E-02	54	0.001524	-4.0407881761705E-002+2.72766754847209E-002i
56	55.0000	3.36E-02	55	0.001018	1.49846849409589E-003+3.25518026798714E-002i
57	56.0000	8.92E-02	56	0.000977	-2.25381858815547E-002-2.16577211858487E-002i
58	57.0000	3.46E-02	57	0.000378	-4.59354613181991E-003+1.11935462118367E-002i
59	58.0000	-6.27E-02	58	0.000247	6.54822426683289E-003+4.43519693564464E-003i
60	59.0000	-8.26E-02	59	0.000656	-8.02543192312386E-003-1.93983810328743E-002i
61	60.0000	-5.40E-04	60	0.001269	-1.42444050353974E-002+3.80298507371359E-002i
62	61.0000	8.22E-02	61	0.001686	4.71920459217756E-002-2.61475854237743E-002i
63	62.0000	6.35E-02	62	0.000953	-2.77761989399121E-002+1.25881394198243E-002i
64	63.0000	-3.36E-02	63	0.00131	-3.0514015210146E-002-2.87354847302227E-002i
65	64.0000	-8.92E-02	64	0.0006	-1.54262215112223E-002-1.14120492687205E-002i

DAFTAR PUSTAKA

- Beu, M.M.Z. dan Prastianto, R.P. 2013. Studi Numerik Pengaruh Bentuk Passive Control Device Berupa *Rods* Berpola Helical terhadap *Vortex* Induced Vibration (VIV) pada Long Flexible Riser. *Jurnal Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung*.
- Chakrabarti, S.K. 2005. *Handbook of Offshore Engineering Volume II*. Elsevier.
- Djarmiko, E. B. 2009. *Diktat Kuliah Hidrodinamika 2*. Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Guo, Boyun. 2005. *Offshore Pipelines*.
- Haario, H, 2010. Numerical Investigation of Flow Past a Circular Cylinder and in a Staggered Tube Bundle Using Various Turbulence Models.
- Munson, B.R., Young, D.F., dan Okiishi, T.H. 2002. Fundamentals of Fluid Mechanics. ISBN 0-471-44250-X.
- Purwanti, L. 2008. Analisa *Vortex* Induced Vibration pada Riser Tension Leg Platform. *Jurnal Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Sarpkaya, T. 1978. *Mechanics of Wave Force on Offshores Structures*. Van Nostrand Reinhold Company: New York.
- Sugiwanto, A, dkk. 2011. Analisa Pengaruh Penambahan *Helical Strakes* Ber-gap Sebagai Suppression Device pada Silinder untuk Mengurangi Gaya Fluida dan *Vortex Induced Vibration*
- Sumer, dkk. 1999. *Hydrodynamics Around Cylindrical Structures*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd: Singapore.
- Trim, dkk. 2005. Experimental Investigation of *Vortex*-Induced Vibration of Long Marine Riser. *Journal of Fluids and Structures*.
- Wu, H. dkk.. 2012. Experimental Investigation on Suppression of *Vortex*-Induced Vibration of Long Flexible Riser by *Multiple Control Rods*. *Journal of Fluids and Structure* 30: 115-132.
- Yiannis Constantinides, Owen H. Oakley, Jr, 2006. *Numerical Prediction of Bare and Straked Cylinder VIV*. Proceedings of OMAE2006, 92334, Hamburg, Germany, 4-9 june.

halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Fardiansyah Cahya Pratama Putra, lahir di Kota Ponorogo, 11 Juli 1991. Anak pertama dari dua bersaudara pasangan Ir. Farid Widodo dan Dina Lisnawati. Penulis menempuh pendidikan formal dari TK sampai SMA di Kota Tangerang. Lulus dari SMAN 1 Tangerang (2006-2009) penulis mendapatkan kesempatan untuk melanjutkan pendidikan Strata 1 di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) dan terdaftar dengan NRP. 4309100057. Selama kuliah penulis aktif dalam bidang kemahasiswaan, seminar maupun pelatihan. Penulis aktif dalam Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) sebagai Ketua Unit Kegiatan Tari dan Karawitan (UKTK) periode 2011/2012. Berbagai pelatihan dan seminar juga pernah diikutinya dalam rangka untuk pengembangan diri, salah satunya telah mengikuti pelatihan LKMM (Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa) Pra-TD, LKMM TD (Tingkat Dasar) dan LKMM TM (Tingkat Menengah). Selama perkuliahan, penulis mendapat pengalaman kegiatan kerja praktek di Perusahaan Gas Negara (PGN.tbk). penulis juga pernah berpartisipasi dalam perlombaan pembuatan maket *Offshore Structure* dan mendapatkan peringkat 1. Saat memasuki semester delapan, penulis mengambil Tugas Akhir sebagai syarat kelulusan pendidikan Strata 1, dengan judul “Evaluasi Aspek *Slamming* Pada Perancangan *Drillship* Displasemen 35.000 Ton” dan berhasil diselesaikan dalam 1 semester. Penulis mendapatkan kesempatan untuk melanjutkan studi ke jenjang magister dengan beasiswa fresh graduate dikti. Penulis menyelesaikan studi magister dalam waktu 3 semester dengan judul tesis “Karakteristik *vortex shedding* dari interaksi hidrodinamika dengan pemasangan *multiple heical rods* ber-gap pada sebuah silinder kaku”.

Email : cakanchacuk@gmail.com